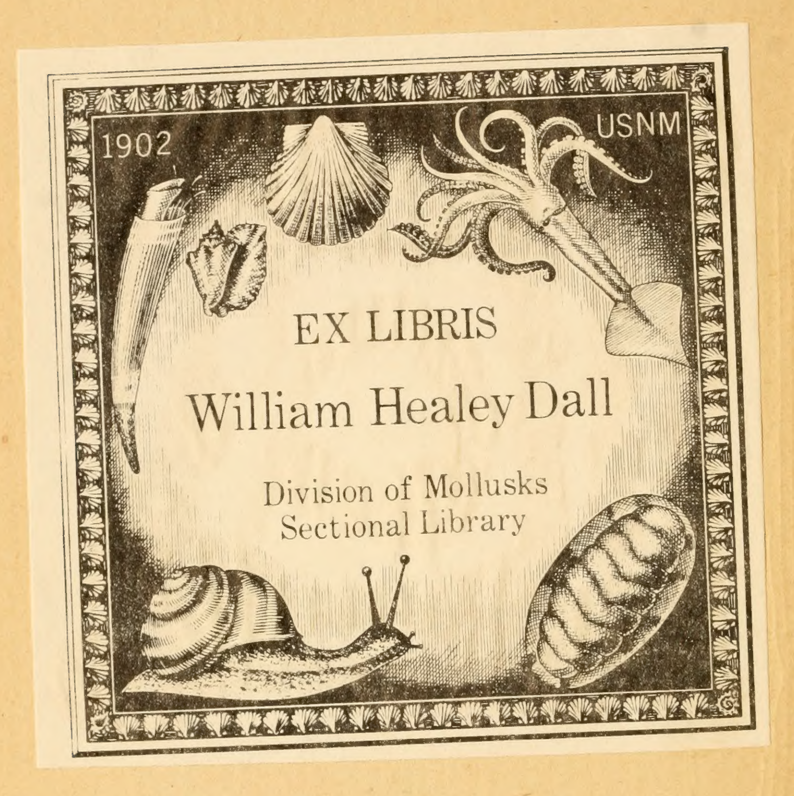

1902
USNM
EX LIBRIS
William Healey Dall
Division of Mollusks
Sectional Library

Série A, n° 230.
N° d'ordre
848

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

J.-B. PIÉRI
Licencié ès-sciences physiques et ès-sciences naturelles
Professeur au Lycée de Rochefort-sur-mer

1re THÈSE.— Recherches physiologiques sur *Tapes decussata* et quelques tapidées.

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 14 juin, devant la commission d'examen.

MM. DELAGE	*Président.*
BONNIER.	*Examinateurs.*
VÉLAIN	*Examinateurs.*

LAVAL
IMPRIMERIE E. JAMIN
8, rue Ricordaine, 8

1895



ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

	MM.	
Doyen	DARBOUX	Géométrie supérieure.
Professeur honoraire	PASTEUR.	
Professeurs	DE LACAZE-DUTHIERS.	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	TROOST	Chimie.
	FRIEDEL	Chimie organique.
	TISSERAND	Astronomie.
	LIPPMANN	Physique.
	HAUTEFEUILLE	Minéralogie.
	BOUTY	Physique.
	APPELL	Mécanique rationnelle.
	DUCLAUX	Chimie biologique.
	BOUSSINESQ	Mécanique physique et expérimentale.
	PICARD	Calcul différentiel et calcul intégral.
	POINCARÉ	Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	YVES DELAGE	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	BONNIER	Botanique.
	DASTRE	Physiologie.
	DITTE	Chimie.
	MUNIER-CHALMAS	Géologie.
	GIARD	Zoologie, Evolution des êtres organisés.
	WOLF	Astronomie.
Professeurs adjoints	CHATIN	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	JOLY	Chimie.
	PELLAT	Physique.
	KOENIGS	Cinématique.
	PAINREVÉ	Calcul différentiel et intégral.
Secrétaire	FOUSSEREAU.	

A

M. H. DE LACAZE-DUTHIERS

MEMBRE DE L'INSTITUT

Cher et éminent Maître,

Permettez-moi de vous dédier ce travail, comme un faible hommage de ma respectueuse sympathie et de ma profonde reconnaissance pour la bienveillance que vous n'avez cessé de me témoigner et pour l'hospitalité que vous m'avez toujours accordée dans vos Laboratoires de Paris et de Roscoff, où vos conseils m'ont été d'un si puissant secours.

Daignez agréer, avec l'expression de ma gratitude, l'hommage de mon plus profond respect.

J.-B. Piéri.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR

TAPES DECUSSATA ET QUELQUES TAPIDÉES

Faites au Laboratoire maritime de Roscoff (Finistère).

Par J.-B. PIÉRI

Professeur au Lycée de Rochefort-sur-mer.

INTRODUCTION

La meilleure de toutes les démonstrations c'est, sans contredit, l'expérience.

Bacon, *Novum organum*
Aph. LXX.

1. *Considérations générales.* — La physiologie des Invertébrés est encore peu étudiée ; cependant, elle ne manque ni d'attrait ni d'imprévu, comme l'ont prouvé les remarquables travaux de F. Plateau sur les Arthropodes, de P. Bert sur la Sépia, de L. Fréderícq sur le Poulpe, de Krukenberg sur les Céphalopodes et les Gastéropodes, de Yung sur l'Escargot et les Lamellibranches, de Bourquelot sur les Céphalopodes, de Varigny sur les muscles des Invertébrés, etc.

Les naturalistes ont soupçonné depuis longtemps les rapports étroits qui existent entre tous les êtres vivants : la physiologie établit nettement ces rapports. La vie exige les mêmes conditions d'exercice chez tous les êtres vivants ; en dernière analyse, ses manifestations sont du même ordre chez le plus élevé comme chez le moins élevé en organisation. Mais, les organismes compliqués rendent les observations difficiles ; ce sont les Invertébrés ou les végétaux qui nous feront pénétrer ou qui, tout au moins, nous laisseront entrevoir les secrets de la vie. Parmi les Invertébrés, les Lamellibranches ont une organisation assez simple pour se prêter à des expériences de physiologie ; ces considérations m'ont amené à les choisir de préférence aux autres pour faire des recherches de biologie, telles que : résistance à l'asphyxie, énergie musculaire, action de certains agents physiques et chimiques sur les tissus et particulièrement sur le cœur et sur les muscles. Mes recherches ont été faites sur *Tapes decussata*, très commun et facile à se procurer, et sur quelques Tapidées tels que : *Tapes pullastra* et *Tapes aurea*.

II. *Plan général de ce travail.* — Claude Bernard a dit : « Le physiologiste peut conclure des animaux à l'homme, des animaux entre eux et même aux plantes pour tout ce qui concerne les propriétés générales de la vie (1).

« On peut généraliser pour tout ce qui tient aux propriétés, on ne le peut qu'après examen et conditionnellement pour ce qui concerne les fonctions (2).

1. Claude Bernard : *Leçons sur les Phénomènes de la Vie*, t. Ier, p. 376.
2. Claude Bernard : *Leçons sur les Phénomènes de la Vie*, t. Ier, p. 377.

« Le physiologiste prend l'être vivant en contact avec le milieu extérieur et étudie les influences réciproques qui résultent de leur action mutuelle, et, à mesure qu'il rencontre des phénomènes nouveaux il cherche à les rattacher à des organes ou à des tissus dans lesquels ils seront désormais localisés (1). »

Je me guiderai sur les principes posés par cet illustre maître, surtout pour formuler des conclusions. Le travail sera délicat, souvent difficile, mais toujours intéressant.

L'hésitation ne sera pas possible dans certains cas très simples : ce qui est vrai pour les tissus des mollusques sera vrai pour ceux des vertébrés, si on les suppose soumis aux mêmes conditions extérieures. Mais, si les faits ne sont pas suffisamment dégagés, je me garderai de faire des généralisations risquées. D'une manière plus précise, mes conclusions seront seulement déduites des expériences directes que j'ai faites sur *Tapes decussata* ; je ne les étendrai aux autres êtres vivants que si elles rentrent dans les lois générales posées par Claude Bernard. Même ainsi limité, le sujet présentera quelque intérêt, comme j'espère l'établir par l'exposé détaillé de mes recherches.

III. *Bibliographie*. — Au début de ces recherches, je ne comptais citer que les travaux relatifs à la physiologie comparée des Lamellibranches ; mais, comme je l'ai dit plus haut, les animaux présentent, entre eux, tant de points communs que j'ai dû élargir le cadre de la discussion ; lorsque la comparaison s'imposera, je la signalerai en citant les travaux originaux qui se rapportent à la

1. Claude Bernard : *Leçons de Physiologie expérimentale*, t. II, p. 18

question. C'est ainsi, que mes recherches sur la résistance à l'asphyxie de *Tapes* ne peuvent être isolées des travaux antérieurs sur la respiration ; aussi je citerai plus particulièrement les travaux qui ont certains rapports avec le mien, et qui en forment pour ainsi dire le prélude, quoiqu'ils aient trait aux végétaux ou aux animaux supérieurs ; ce sera une occasion de plus de remarquer l'unité de fonction chez les êtres vivants.

Je tiens à signaler, dès le début, les facilités de travail que j'ai rencontrées au Laboratoire zoologique de Roscoff ; grâce à la richesse de sa faune et à sa complète installation, je me suis trouvé dans de bonnes conditions d'expérimentation pour poursuivre mes recherches.

Je renouvelle mes remerciements à son éminent Directeur et mon excellent maître, M. de Lacaze-Duthiers, et à tout le personnel, dont l'éloge n'est plus à faire, pour l'empressement qu'ils mettent à accorder aux travailleurs une hospitalité aussi large que cordiale ; par deux fois j'en ai fait l'expérience, et j'en garde un reconnaissant souvenir.

PLAN PARTICULIER DE CE TRAVAIL ET DIVISION DU SUJET.

1° *Difficultés des expériences.* — Les expériences de physiologie ne sont pas sans présenter quelques difficultés chez les Lamellibranches, à cause des valves qui normalement empêchent de voir les réactions dont l'animal

est le siège; les miennes peuvent se diviser en deux catégories : dans les premières, l'animal est intact (résistance à l'asphyxie, énergie musculaire, etc.); dans les secondes, l'animal est mutilé.

2° *Réactif de la vie.* — Pour rendre ces dernières concluantes et comparables entre elles, j'ai pris comme réactif physiologique, presque toujours le *cœur* et quelquefois les muscles. Le nombre des battements du cœur et la contractilité des muscles constituent un excellent réactif de la vie; ils m'ont fourni une échelle de comparaison d'une grande sensibilité.

Autant que possible, je me suis adressé pour des expériences de même ordre, comme, par exemple, l'action de la température, à des individus de même taille et placés dans les mêmes conditions extérieures.

3° *Mode d'expérience.* — Les dimensions de l'animal sont indiquées de la façon suivante : $\frac{m}{n}$. — m représente la longueur, n représente la largeur.

Dans certains cas, je détermine le poids : 1° de l'animal intact; 2° de la coquille seule; 3° de la partie vivante.

Pour étudier les mouvements du cœur, voici comment je procède : je coupe rapidement le muscle antérieur d'abord puis le muscle postérieur, en ayant soin de ne pas atteindre les organes voisins, ce qui est facile avec une certaine habitude.

Je coupe ensuite le ligament en prenant beaucoup de précautions pour ne pas mutiler le *péricarde* ou le *cœur*

placés immédiatement au-dessous; pour cela, je me sers d'un couteau tranchant.

Comme le ligament des Tapidées est externe et forme un bourrelet très apparent on peut facilement le couper sans faire pénétrer la lame à l'intérieur de l'animal. Il est bon de remarquer que, si cette opération est bien faite, la mutilation n'atteint que les muscles; les observations peuvent donc se faire dans de bonnes conditions, puisque tous les organes importants sont intacts. Certes, il y a quelques inconvénients dus à l'écoulement du sang, à cause de l'existence du système lacunaire; mais, comme les expériences ont été faites dans les mêmes conditions elles restent comparables entre elles.

Pour observer les pulsations du cœur, j'écarte les valves en les maintenant dans une position fixe soit au moyen d'un petit corps solide placé entre elles, soit au moyen d'épingles. Dans ce dernier cas, l'animal est disposé verticalement par son bord palléal, sur un cristallisoir à dissection; des épingles maintiennent les valves écartées plus particulièrement du côté postérieur de manière à laisser bien voir le cœur dont on peut suivre les battements. L'animal est observé soit à l'air, soit dans l'eau de mer. J'accomplis ensuite l'expérience.

Tel est le procédé général que j'ai employé pour étudier les manifestations de la vie chez les lamellibranches; je crois qu'il réalise de bonnes conditions d'expérimentation; les résultats de mes observations semblent du moins le prouver.

Du reste, dans plusieurs cas, j'ai contrôlé les résultats

fournis par les animaux mutilés en répétant les expériences sur des animaux intacts.

Marche de l'expérience. — Chaque expérience sera décrite en particulier si elle présente quelque modification au procédé précédent.

A chacune d'elles, je rattacherai immédiatement la *conclusion* qui résultera des observations faites ; un court historique de la question me permettra de comparer mes recherches aux recherches analogues faites sur d'autres animaux et de discuter les résultats.

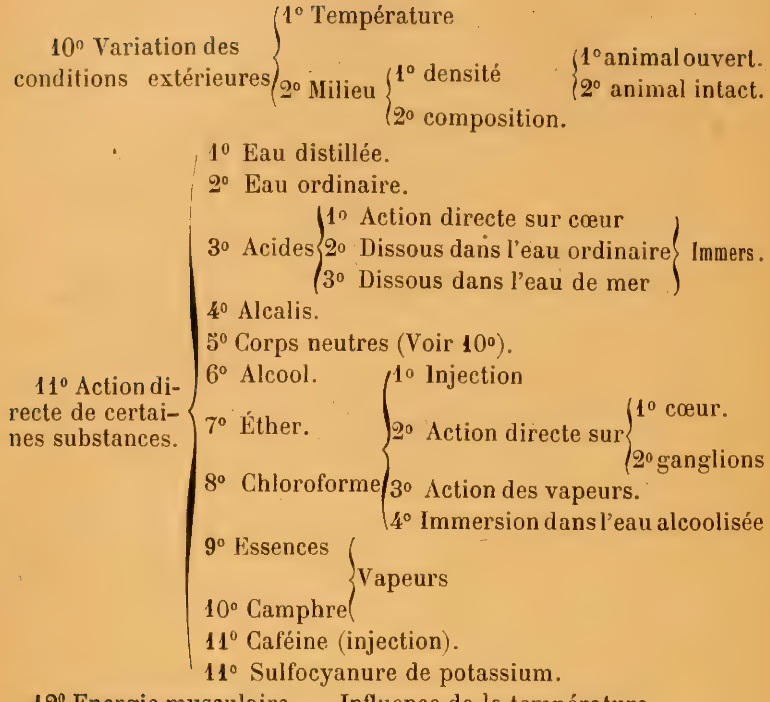
En un mot, chaque expérience comportera les chapitres suivants : description, observations, conclusion, comparaison et discussion.

Ordre des observations et expériences. — Voici les principaux chapitres de ce travail :

1° Habitat de *Tapes decussata*.
2° Force du courant d'eau lancé par le siphon dorsal.
3° Progression dans le sable et dans l'eau.
4° Son produit par *Tapes*.
5° Résistance à l'inanition.
6° Résistance à l'asphyxie.
7° Vitalité des tissus
- 1° Extirpation des ganglions nerveux.
- 2° — du cœur.
- 3° Tissus séparés.

8° Physiologie du cœur
- Pulsations.
  - 1° à l'air ;
  - 2° dans l'eau de mer.
  - 3° rupture du péricarde.
  - 4° action de différents milieux ou agents.

9° Action de l'électricité
- 1° sur les ganglions nerveux.
- 2° sur le cœur.



12° Energie musculaire. — Influence de la température.
13° Résistance de la coquille.
14° Présence du fer.

I

Habitat. — *Tapes decussata* (a) est très répandu ; il ha-

(a) Lamark désigne *Tapes decussata* sous le nom de *Venus decussata* d'après Linné, *Syst. naturæ*, p. 1135, éd. Gmelin, 1758.

(Lamark, *Histoire des animaux sans vertèbres*, t. VI, p. 356. Paris, 1835).

Forbes et Hanley, Fisher, Jeffreys adoptent le nom de *Tapes* d'après Megerle von Mühlfeldt, 1811.

Forbes, et Hanley, t. I, p. 379, pl. XXV, f. 1.

Fisher, *Manuel de Conchiliologie*, p. 1085. Savy, 1887. Paris.

Jeffreys, *British Conchyliology* t. VII, p. 349. London, MDCCCLXIII.

bite la Méditerranée, l'Océan européen, les mers australes (1). On le trouve dans les mers d'Europe, au Sénégal, au Brésil, dans l'Océan indien, en Chine, dans la Nouvelle-Zélande (2). A Roscoff, on le trouve en grande quantité sur la grève en compagnie de *Tapes pullastra* et *Tapes aurea*. Il est enfoncé de quelques centimètres dans le sol et on l'en retire facilement avec un couteau. Les siphons sont tournés vers la surface libre du sol ; à marée basse, ils envoient de temps en temps, des jets d'eau de 5 à 6 centimètres de hauteur (3).

Les échantillons sont de bonne grandeur ; plusieurs présentent 5 à 6 centimètres de longueur sur 4 à 5 de largeur.

Mes expériences ont été faites sur des échantillons de cette taille.

II

FORCE DU COURANT D'EAU EXPULSÉ PAR LE SIPHON DORSAL.

Sur la grève de Roscoff et surtout sur celle de Pempoul, j'ai été frappé de la hauteur que pouvait atteindre le jet d'eau lancé par le siphon dorsal. Je me proposai non-seulement de mesurer exactement la hauteur, mais aussi la force d'expulsion de l'eau, d'autant plus que ce

1. Lamark : *loc. cit.* t. VI, p. 357.
2. Fisher : *loc. cit.* p. 1085.
3. Ce phénomène est surtout remarquable avec *Artemis lincta* qui vit en très-grande quantité sur la grève de Pempoul et du Cerf.

courant d'eau détermine la locomotion de l'animal dans l'eau.

Expérience. — Je me suis servi pour cela d'un tube en verre recourbé à angle droit et monté sur un disque en plomb. On dispose ce petit appareil de manière que le siphon dorsal pénètre complètement dans le tube horizontal. Il suffit pour cela d'habituer l'animal au contact du tube en essayant, à plusieurs reprises, de recouvrir ce siphon avec le tube. Au bout d'un certain temps, l'animal s'habitue à ce manège et il ne contracte plus ses siphons lorsqu'on approche le tube. On dispose alors celui-ci dans la direction du siphon qui, peu à peu, y pénètre, le bouche complètement et, lorsque le courant d'eau s'établit, on mesure la hauteur *verticale* de l'eau, dans le tube vertical, au-dessus du niveau de l'eau lorsque le tube est seul ou lorsque le courant ne marche pas. On remarque que le courant est intermittent ; cependant, les intervalles de repos sont, en général, plus courts que les intervalles d'activité.

Force d'expulsion de l'eau. — On note de même la hauteur verticale de l'eau lancée dans le tube.

Le poids de l'eau soulevée s'obtient en multipliant le volume par la densité ou $V \times D$.

Mais $V =$ section du tube $\times$ hauteur verticale de l'eau.

Section $= \pi R^2$; R étant le rayon du tube.

$D =$ densité de l'eau de mer $= 1,026$.

Donc poids de l'eau soulevée $= \pi R^2 H \times 1,026$.

Voici quelques résultats :

Dimensions de l'animal	Hauteur de l'eau pour le courant normal h. et pour le jet d'eau H.	Poids de l'eau soulevée.
$\frac{3.7}{3}$	$h = 10$ mm.	0 gr. 201455
	diamètre tube $= 5$ mm.	
$\frac{5}{3.7}$	$h = 10$ mm.	0 gr. 24376
	diamètre tube $= 5$ mm. 1/2	
$\frac{3.7}{3}$	$H = 30$ mm.	0 gr. 62451
	$h = 10$	0 gr. 201455
	$D = 5$ mm.	
id.	$H = 58$ mm.	1 gr. 968
	$D = 5$ mm.	
id.	$H = 90$	1 gr. 81
	$D = 5$ mm.	
id.	$H = 50$	1 gr. 2178
	$D = 5$ 1/2	

Ce poids d'eau soulevée est faible ; mais nous savons que l'excès de pression qui se produit sur les parois du manteau dépend de la surface du manteau et de la hauteur de l'eau au-dessus du niveau ordinaire dans le tube. En effet, la pression exercée par un liquide sur le fond horizontal d'un vase (1) est égal au poids de la colonne liquide ayant pour base le fond du vase et pour hauteur, la hauteur du liquide dans le vase. Ici, cet excès de pression est considérable, car la surface du manteau est grande et est comprise entre (8 à 12) $\times$ 2 cm^q. pour nos échantillons.

1. Si le fond n'est pas horizontal, on considère sa projection sur un plan horizontal.

Les cils vibratiles qui produisent ce courant et qui font équilibre à cet excès de pression ont donc une énergie relativement forte.

La même observation s'applique au jet d'eau déterminé par la contraction musculaire des siphons et du manteau.

Les nombres précédents nous donnent dans les différents cas, les résultats suivants pour l'excès de pression.

Excès de pression, sur la moitié droite ou gauche du manteau.

1° Surface (1) de la demi-coquille ou d'une valve = 10 cmq. h = 10 mm.

Pression = 10 × 1 × 1.026 = 10 gr. 26.

2° Surface de la demi-coquille = 10 cmq. h = 10 mm.

Pression = 12 × 1 × 1,026 = 12 cmc. × 1,026 = 12 gr. 292.

Donc, le courant d'eau déterminé par les cils produit un excès de pression de 10 à 12 gr. sur les parois considérées du manteau.

L'excès de pression déterminé par le jet d'eau est bien plus considérable. Dans les différents cas précédents on a :

1° Surface demi-coquille = 9 cmq. H = 30 mm.

Pression = 9 × 3 × 1,026 = 27 cmc. × 1,026 = 27 gr. 702.

1. On considère seulement la surface de projection de la coquille. Voyez note, p. 11.

2° Surface demi-coquille = 9 cmq. $H = 58$ mm.

Pression = $9 \times 5,8 \times 1,026 = 51$ gr. 30.

3° Surface demi-coquille = 9 cmq. $H = 90$ mm.

Pression = $9 \times 9 \times 1,026 = 81 \times 1,026 = 83$ gr. 106

4° Surface demi-coquille = 9 cmq. $H = 50$ mm.

Pression = $9 \times 5 \times 1,026 = 45 \times 1,026 = 46$ gr. 17.

Donc, le jet d'eau déterminé par la contraction des siphons et du manteau produit un excès de pression de 30 à 83 grammes sur les parois considérées du manteau.

Nota. — Ici, il y a une cause d'erreur négligeable ; en effet, au lieu de considérer la surface du manteau, je prends la surface presque égale de la coquille. La surface d'une valve est déterminée assez exactement par une méthode que j'indiquerai à propos de l'énergie musculaire. (Voyez p. 157).

La pression étant considérée sur la partie droite ou gauche du manteau qui est placée à la partie inférieure, on ne détermine que la surface d'une seule valve. Si on considère la pression sur l'ensemble du manteau, il faut doubler les nombres précédents. Tous ces résultats sont approximatifs ; mais ils sont suffisants pour nous donner une idée de la force du courant d'eau et pour expliquer les déplacements de *Tapes* dans l'eau.

III

PROGRESSION DANS LE SABLE ET DANS L'EAU.

a. — *Progression dans le sable.* — Le mode de loco

motion de *Tapes decussata* est curieux à observer. Je l'ai examiné, 1° dans le sable, 2° dans l'eau.

Expériences. — Un bocal en verre est rempli de sable et d'eau ; l'animal est placé sur le sable, contre les parois du vase de manière qu'on puisse voir ses mouvements. Après un instant de repos il s'épanouit et étale les siphons et le pied ; celui-ci est d'abord dirigé en arrière. L'enfouissement se fait alors en plusieurs temps :

1er temps, — L'animal *pioche* le sable avec son pied ; à différentes reprises il l'enfonce et le retire recouvert d'un peu de sable qui est agglutiné par les mucosités du pied. A chaque coup, le pied avance dans le sable et le sable sorti s'accumule à la surface du pied où il forme une couche continue, plissée qui se détache lorsque le pied rentre brusquement dans la coquille.

2e temps. — Pour élargir le trou, l'animal exécute des mouvements d'oscillation d'arrière en avant qui lui permettent de se placer obliquement, le bord anal relevé et le bord buccal enfoncé.

3e temps. — Les mêmes mouvements continuent, puis l'animal se relève et essaye de se placer verticalement en reposant sur le sable par le bord palléal et surtout par le bord buccal qui s'enfonce de plus en plus ; alors, d'un mouvement brusque, dirigé d'arrière en avant, il s'enterre d'environ 1/3 de sa longueur. Ces mouvements brusques se répètent et à chaque coup il s'enfonce du côté du bord buccal. Cet enfouissement est favorisé par des mouvements de rotation de haut en bas et de bas en haut que l'animal exécute autour d'un axe perpendicu-

laire à son plan de symétrie. Ces mouvements doubles de bascule creusent le sable qui est rejeté en arrière et qui recouvre peu à peu les crochets sur le bord dorsal.

Les siphons interviennent dans cet enfouissement ; ils sont fermés lorsque l'animal donne un coup de pied pour l'enfoncer et, probablement, l'eau refoulée avec force agit sur le sable.

Les mouvements du pied enlèvent le sable dont la masse augmente. Au commencement, le pied, bien étalé, est dirigé en arrière ; lorsque la coquille est à moitié relevée, il se dispose en avant.

Quand l'animal est presque complètement enfoncé, il se déplace dans le sable en exécutant, par une espèce de balancement, des mouvements doubles d'arrière en avant. Le sable est creusé en avant et refoulé en arrière par le pied ; avant de s'enterrer complètement l'animal se déplace d'arrière en avant ; il fait ainsi le tour du vase.

Les orifices des siphons se tiennent toujours en dehors du sable ; mais ils émergent très peu.

Lorsque dans sa marche, un *Tapes* en rencontre un autre, immobile et bien enfoui, celui-ci ne bouge pas malgré les secousses qu'il subit de la part de son voisin. En effet, ses siphons restent épanouis ; s'ils sont ensablés par l'autre, il rejette de l'eau de manière à les nettoyer. Chose curieuse, si on touche ses siphons il les rentre aussitôt ; il en est de même, si on le touche en un point quelconque.

Tapes a-t-il ainsi conscience du voisinage d'un individu de même espèce ? On le dirait, puisqu'il ne bouge pas

quand il est dérangé par les mouvements d'un voisin. Qui sait, si nous n'assistons pas là à une première ébauche de l'intelligence ou de la perception du monde extérieur chez les animaux inférieurs? dans tous les cas le fait méritait d'être signalé.

b. — *Locomotion dans l'eau.* — La locomotion dans l'eau se fait plus simplement : l'animal rejette de l'eau par le siphon dorsal ; il se produit un mouvement de recul en sens inverse de l'écoulement et il est projeté en avant à une distance de 2 à 3 centimètres.

Ce déplacement n'a rien de surprenant, car la projection de l'eau se fait avec une certaine force que nous avons évaluée de 30 gr. $\times$ 2 à 85 gr. $\times$ 2 pour les individus de taille moyenne (Voir plus haut, p. 13.)

Un individu de taille moyenne pèse :

dans l'air 21 gr. 5

dans l'eau 8 gr. 5

dans l'eau de mer $\dfrac{8 \text{ gr. } 5}{1,026}$

Le travail produit pour un déplacement de 3 centimètres

$$T = \frac{8.5}{1,026} \times 3 = 24 \text{ grammes-mètres } 19.$$

Ou en ergs, 24,9 $\times$ 981 (1).

Ce travail est inférieur à celui que produirait une force de 60 gr. ou de 170 gr. (force de contraction musculaire

1. Quand un corps, soumis à une force constante en grandeur et en direction, se déplace dans la direction de la force, le travail de la force est égal au produit de l'intensité de la force par le déplacement du corps. Mascart. *Éléments de mécanique*, 3e éd. 1875, p. 163.

des siphons et du manteau), si l'animal se déplaçait dans la direction même de la force, c'est-à-dire de l'écoulement de l'eau. Mais cela n'a pas lieu et nous savons que le travail d'une force, pour un déplacement dans une direction autre que celle de la force, s'obtient en faisant le produit de la force (supposée constante en grandeur et en direction) par la projection du déplacement sur la direction de la force. Le déplacement se faisant dans une direction différente de celle de la force, on comprend pourquoi ce déplacement est faible pour une force relativement grande.

Nous ne tenons pas compte ici du frottement très faible qui se produit entre la coquille et le fond du vase ce qui tend à diminuer le déplacement.

1° *Déplacement linéaire.* — Le pied s'allonge beaucoup, et en avant ; il prend adhérence sur le fond du vase et en se contractant il ramène l'animal qui avance du côté du pied, c'est-à-dire, du côté buccal. Le pied s'allonge de nouveau en avant et le même manège recommence.

2° *Déplacement latéral ou de rotation.* — Le pied s'allonge, puis son extrémité se place en dessous, comme par une espèce de torsion de l'organe ; l'adhérence a lieu seulement sur la partie contournée et l'animal se déplace ainsi latéralement, du bord cardinal vers le bord palléal ; je n'ai jamais observé de mouvements inverses.

3° *Retournement.* — Le retournement de l'animal sur lui-même est plus curieux : il a lieu par la contorsion du pied et par sa détente brusque.

Le pied s'allonge beaucoup ; puis, il se courbe pour ainsi dire à angle droit et la partie recourbée se place en

dessous, du bord palléal au bord cardinal, l'extrémité libre étant dirigée vers le crochet. Lorsque le pied, dans cette position, se détend brusquement, on voit l'animal tourner rapidement sur lui-même et même se retourner sur l'autre valve.

Tapes pullastra nous a fourni des observations analogues.

Les tapidées ne sont donc pas immobilisés sur la grève où ils vivent ; ils doivent mettre à profit leurs différents moyens de locomotion pour se déplacer et changer de station. Dans quelles limites le font-ils et sous quelles influences ? Aucune observation précise ne me permet de répondre à cette question qui est intimement liée aux mœurs de l'animal.

IV

SON PRODUIT PAR *Tapes pullastra*.

Lorsque *Tapes pullastra* est exposé à l'air, en dehors de l'eau, il s'ouvre légèrement et il fait entendre des sons graves.

Le son est dû aux vibrations des bords du manteau qui se disposent de manière à former une dépression ; en ce point, les deux bords du manteau s'écartent et forment une petite bouche (fig. 1). Lorsque les deux lèvres se séparent brusquement elles vibrent et produisent un son.

Les autres Tapidées, *T. Decussata T. Aurea* ne produisent aucun son.

Dans quel but ce son est-il produit ? A quel besoin de l'animal répond-il ? A-t-il la valeur d'une fonction de relation ? Rien dans mes observations, ne me permet de formuler la moindre réponse, pas même une hypothèse. J'ai signalé ce fait parce qu'il est rare chez les mollusques et que je ne l'ai constaté ni chez *T. decussata* ni chez *T. aurea*.

V

RÉSISTANCE A L'INANITION.

La durée pendant laquelle Tapes decussata *peut supporter l'inanition est relativement courte ; elle varie avec la taille de l'individu et la température. Elle augmente avec la taille et diminue en sens inverse de la température* : 6 *à* 12 *jours en été* ; 20 *à* 30 *jours en hiver.*

Expériences. — Les expériences ont été faites à l'air libre sec ou saturé. En hiver, il y a une faible différence entre la résistance à l'inanition à l'air sec ou saturé ; en été, cette différence est sensible à cause de l'évaporation active qui amène la dessiccation des tissus et empêche leur fonctionnement. Dans l'air humide, en été, *Tapes* vit en moyenne deux jours de plus que dans l'air sec.

Dans une première série d'expériences j'ai déterminé la durée pendant laquelle *Tapes* supporte l'inanition. Voici les résultats :

Air libre sec. $T = 16°$.

1° Dimensions : $\frac{3.7}{2.7}$	. Durée : 5 jours.	Observ. cœur arrêté en diastole.	
2° $\frac{3.6}{2.7}$	6	id.	
3° $\frac{4}{3}$	10	id., muscles contractés.	
4° $\frac{4.5}{3.5}$	11	id.,	id.

Air saturé. $T = 16°$.

1° $\frac{3.7}{2.7}$	6 jours	id.	id.
2° $\frac{4}{3}$	12	id.	id.
3° $\frac{4.5}{3.5}$	12 1/2	id.	

Air sec. $T = 4°$.

1° Dimensions : $\frac{3.5}{2.6}$	. Durée : 16 jours.	
2° $\frac{4}{3}$	20	id.
3° $\frac{4}{3}$	27	id.

Air saturé. $T = 4°$.

1° $\frac{3.5}{2.6}$	19	id.
2° $\frac{4}{3}$	22	id.
3° $\frac{4}{3}$	30	id.

Dans une deuxième série d'expériences, j'ai déterminé la perte absolue de poids de l'animal et la perte relative ; pour cela, j'ai trouvé le poids initial ou le poids final de la substance vivante de l'animal.

Voici comment j'ai procédé :

1° Détermination du poids p de l'animal intact ;

2° Détermination du poids p' de l'eau retenue par l'animal (1) ;

Ce poids d'eau est obtenu en sacrifiant des animaux de mêmes dimensions et en recueillant l'eau qu'ils abandonnent.

3° Détermination du poids p'' de l'animal épuisé et mort d'inanition ;

4° Détermination du poids p''' de la coquille seule.

Ces données nous permettent d'avoir :

1° Le poids de l'animal intact (coquille et chair) $P = p - p'$;

2° Le poids de chair avant l'inanition $P_1 = P - p'''$;

3° Le poids de chair après l'inanition $P_2 = p'' - p'''$;

4° La perte absolue du poids de l'animal $P_3 = P_1 - P_2$;

5° La perte relative du poids de l'animal $\frac{P_3}{P_1}$.

Voici les résultats complets pour un échantillon (air sec):

$$p = 18 \text{ gr.}$$
$$p' = 2 \text{ gr.}$$
$$p'' = 14 \text{ gr. } 151$$
$$p''' = 11 \text{ gr. } 473$$

1. L'animal abandonne difficilement l'eau qui se trouve entre le manteau et les branchies ; on a beau l'égoutter, cette eau reste en grande partie.

D'où :

$$P = p - p' = 18 - 2 = 16 \text{ gr.}$$
$$P_1 = P - p''' = 16 - 11.473 = 4.527$$
$$P_2 = p'' - p''' = 14.151 - 11.473 = 2.678$$
$$P_3 = P_1 - P_2 = 4.527 - 2.678 = 1.849$$
$$\text{et } \frac{P_3}{P_1} = \frac{1.849}{4.527} = \frac{18}{45} = \frac{2}{5} \text{ approximativement.}$$

L'animal a donc perdu plus des 2/5 de son poids initial.

Un deuxième échantillon a donné (air humide) :

$$P_1 = 5 \text{ gr. } 338$$
$$P_2 = 2 \text{ gr. } 163$$
$$P_3 = 5 \text{ gr. } 338 - 2.163 = 3.175$$
$$\text{et } \frac{P_3}{P_1} = \frac{3.175}{5.338} = \frac{32}{53} \text{ approximativement.}$$

L'animal a perdu les 3/5 de son poids.

Un troisième échantillon a donné (air humide) :

$$P_1 = 9.862.$$
$$P_2 = 4.055$$
$$P_3 = 9.862 - 4.055 = 5.807$$
$$\text{et } \frac{P_3}{P_1} = \frac{5.807}{9.862} = \frac{58}{98} \text{ approximativement.}$$
$$\frac{98}{58} > \frac{1}{2}.$$

L'animal a perdu plus de la 1/2 de son poids.

Un quatrième échantillon a donné (air humide) :

$$P_1 = 8.185$$
$$P_2 = 4.053$$
$$P_3 = P_1 - P_2 = 8.185 - 4.058 = 4.132$$
$$\text{et } \frac{P_3}{P_1} = \frac{4.132}{8.185} = \frac{41}{81} \text{ approximativement.}$$
$$\frac{41}{81} > \frac{1}{2}$$

L'animal a perdu plus de la 1/2 de son poids.

Nota. — Ces calculs ne sont pas rigoureusement exacts parce que je n'ai pas tenu compte de la perte de poids de la matière organique de la coquille ; mais cette perte de poids est négligeable, car il y a très peu de matière organique dans la coquille.

D'autres expériences faites dans les mêmes conditions m'ont donné des résultats analogues aux précédents ; il en résulte que la diminution de poids est encore assez forte.

Quant à la durée de la résistance à l'inanition, elle est relativement faible, surtout si on la compare à celle des escargots dont un individu endormi, examiné par Yung (1), s'est montré parfaitement vivant après plus de vingt mois d'inanition. Cela tient sans doute à la vie toujours active de *Tapes* et à sa faible quantité de matières de réserves ; cependant, après la mort, le foie a considérablement diminué, ce qui prouve que son glycogène et son tissu adipeux ont été particulièrement utilisés.

VI

RÉSISTANCE A L'ASPHYXIE

1° Tapes decussata *résiste à l'asphyxie et détermine le dédoublement alcoolique des hydrates de carbone quand il est placé dans leur dissolution privée d'oxygène ou dans un espace confiné. Le saccharose, la dextrine, l'amidon sont d'abord transformés en glucose;*

1. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot*, p. 11.

2° *Un dédoublement alcoolique analogue, mais moindre, des matières de réserve se produit également lorsqu'il est placé dans les mêmes conditions d'asphyxie dans l'eau bouillie ;*

3° *Les animaux résistent à l'asphyxie comme les végétaux ;*

4° *La résistance à l'asphyxie se prolonge plus longtemps en hiver qu'en été.*

Les expériences ont été faites avec *Tapes decussata* soumis à l'asphyxie : 1° dans l'eau bouillie ; 2° dans une dissolution bouillie de glucose à 1/2 0/0 ; 3° de sucre à 1/2 0/0 ; 4° de dextrine à 1/2 0/0 ; 5° d'amidon.

Expériences. — *Tapes decussata* est lavé dans l'eau de mer bouillie et est ainsi débarrassé de l'air qui se trouve en dissolution dans l'eau qu'il retient normalement pour le fonctionnement régulier de ses organes. On le place ensuite dans une atmosphère d'hydrogène ou d'azote ou dans l'eau bouillie d'une éprouvette renversée sur le mercure (fig. 2) pour que l'air ne puisse pas se dissoudre dans l'eau de l'éprouvette. Un tube rempli d'eau de baryte ou d'eau de chaux est placé à l'intérieur de l'éprouvette, son extrémité ouverte, en haut, dans le gaz inerte. Dans ces conditions, *Tapes* résiste à l'asphyxie 3 à 4 jours en été, 6 à 8 en hiver ; il y a dégagement d'acide carbonique qui est absorbé par l'eau de chaux du tube intérieur et dont la quantité est bien plus forte que si l'éprouvette était remplie d'air, c'est-à-dire, si l'animal respirait normalement comme on le prouve par une expérience directe. La distillation de l'eau de l'éprouvette donne de l'alcool. On reconnaît que l'animal est mort lorsqu'il baîlle et qu'il ne se ferme pas sous l'influence d'une excitation directe.

L'eau de l'éprouvette peut être de l'eau de mer bouillie, (*Tapes* vit alors 5 à 6 jours en hiver, 8 à 10 en été), ou de l'eau ordinaire. Dans ce dernier cas, nous savons que l'eau exerce une action délétère ; mais l'animal se tenant fermé se soustrait en grande partie à cette action et est soumis à l'asphyxie. Il est évident qu'un peu d'eau pénètre dans l'intérieur lorsque l'animal s'ouvre, de temps en temps, pour se fermer aussitôt qu'il sent un milieu anormal ; aussi il meurt plus tôt que dans l'eau de mer.

Cette expérience est simple et facile à réaliser.

La moule (*Mytilus edulis*) a donné les mêmes résultats, sauf qu'elle semble vivre plus longtemps.

Glucose à 1/2 0/0. — L'expérience est disposée comme précédemment ; on remplace l'eau de l'éprouvette par une dissolution bouillie de glucose à 1/2 0/0.

Tapes résiste un peu plus que précédemment à l'asphyxie (1-2 jours) ; le dégagement d'acide carbonique est plus fort ; la quantité d'alcool produite est plus grande.

L'eau de l'éprouvette étant distillée une première fois, on reconnaît tout de suite l'alcool a son odeur caractéristique. Je me suis servi pour cette distillation du petit alambic Salleron. L'alcool, ainsi distillé trois ou quatre fois, dissout très facilement la fuchsine ; il donne une coloration jaune avec l'hydrate de baryte ; avec l'acide sulfurique il donne de l'éther reconnaissable à son odeur et un produit charbonneux. On a donc ainsi tous les caractères de l'alcool qui, du reste, a été isolé par le carbonate de potassium.

Dosage. — Le dosage a été fait à l'alcoomètre qui, vu la petite quantité d'alcool produit, m'a donné des résultats plus précis que le carbonate de potassium et la rectification à la chaux ou au chlorure de calcium.

J'ai également dosé par comparaison, en préparant directement des liqueurs alcooliques titrées, dans lesquelles je plongeais ensuite l'alcoomètre, pour contrôler les indications qu'il m'avait précédemment données.

Le poids de la matière vivante, soumise à l'asphyxie, est obtenu en pesant l'animal avant l'expérience et en retranchant de ce poids celui de la coquille.

La température extérieure étant 6° à 8°, j'ai soumis à l'asphyxie, pendant huit jours, 200 grammes de chair.

Le liquide distillé quatre fois a été réduit à 120 centimètres cubes marquant à l'alcoomètre 1° à t=15°.

Donc, 200 gr. de chair donnent 1 cmc. d'alcool et 100 gr. de chair donnent 0 cmc. 600 d'alcool.

Le liquide primitif, c'est-à-dire avant la distillation, avait un volume de 1 litre; il renfermait donc 0,1 0/0 ou 1 0/00 d'alcool.

Ces expériences répétées six fois m'ont toujours donné le même résultat, c'est-à-dire, 0 cmc. 600 d'alcool par 100 grammes de chair.

Pas de glycérine ni d'acide succinique. — Pour comparer ce dédoublement à celui de la levûre de bière, il était intéressant de savoir si le résidu du liquide distillé renfermait de la glycérine et de l'acide succinique.

La recherche de ces produits par le procédé Pasteur ne m'a donné aucun résultat positif ; je crois même qu'ils

ne se sont pas formés, car ces corps sont faciles à mettre en évidence. Ce dédoublement alcoolique du glucose ne serait donc pas comparable, d'une façon absolue, à celui qui est déterminé par la levûre de bière.

Pas de levure de bière. — L'examen microscopique du liquide ne m'a révélé aucune trace de levûre, ce qui prouve que le dédoublement est bien dû à la résistance, à l'asphyxie présentée par *Tapes*.

La même expérience répétée dans les mêmes conditions avec *Mytilus edulis* a donné les mêmes résultats.

Sucre de canne à 1/2 0/0. — L'expérience a été faite avec *Tapes* dans les mêmes conditions que pour le glucose.

La résistance à l'asphyxie détermine : 1° l'inversion du saccharose, 2° le dédoublement du glucose inverti en acide carbonique et alcool. On démontre qu'il y a inversion, car l'eau de l'éprouvette réduit la liqueur cupro-potassique de Barreswill et brunit la dissolution de potasse ou de soude, donc elle renferme du glucose; la distillation de cette eau donne de l'alcool.

Dextrine à 1/2 0/0. — La résistance à l'asphyxie se produit comme précédemment : la dextrine est transformée en glucose et il y a dégagement d'acide carbonique et production d'alcool. En effet, le résidu réduit la liqueur de Barreswill, brunit la dissolution de potasse ou de soude (glucose) et ne donne plus de coloration avec l'iode ; par la distillation on obtient de l'alcool.

Amidon à 1/2 0/0. — L'amidon, à 1/2 0/0 dans l'eau,

forme un léger empois presque limpide. Sous l'influence de la résistance à l'asphyxie de *Tapes*, l'amidon est d'abord transformé successivement en dextrine et en glucose puis, le glucose est dédoubléen acide carbonique et alcool. En effet, le résidu réduit la liqueur de Barreswill, brunit la dissolution de potasse et de soude, ne donne plus de coloration avec l'iode et par la distillation on obtient de l'alcool (1),

Nota. — Avec le glucose, le sucre, la dextrine, l'amidon, la quantité d'alcool produit est sensiblement la même; la durée de l'existence de l'animal aussi. Le phénomène est donc plus accentué que dans le premier cas, c'est-à-dire que dans l'eau seule où l'animal est réduit à ses hydrates de carbone de réserve. Aussi la moule dont le foie est très riche en glycogène semble résister davantage.

Immersion de Tapes dans l'eau de mer alcoolisée : — *Tapes* intact placé dans l'eau de mer tenant 1/2 à 1/4 0/0 d'acool continue à y vivre sans troubles apparents. Dans les expériences précédentes, l'eau de l'éprouvette était en moyenne à 1/100, après la production de l'alcool ; donc la mort ne survient pas par alcoolisme, mais par l'asphyxie proprement dite.

Nota. — Toutes les expériences précédentes ont été

1. On sait que : le glucose brunit les alcalis concentrés et réduit la liqueur cupro-potassique de Barreswill ou de Fehling ; la dextrine prend une coloration rouge-fauve avec l'iode ; l'amidon prend une coloration bleue avec l'iode.

répétées en plaçant *Tapes* dans les mêmes dissolutions, mais non privées d'air ; l'animal lui-même était dans son état normal, c'est-à-dire n'avait pas été débarrassé de l'air qu'il renfermait.

Toujours la résistance s'est prolongée et les liquides soumis à l'analyse, après la mort de l'animal, ont donné les mêmes produits.

Enfin j'ai répété ces expériences en plaçant l'animal dans l'air confiné d'une éprouvette aux 9/10 remplie d'eau ; après la mort de l'animal, son eau de lavage a donné de l'alcool par la distillation.

Donc, les phénomènes que j'ai signalés en l'absence absolue de l'oxygène se produisent également dans un air confiné et en quantité insuffisante pour les besoins respiratoires de l'animal pendant quelques jours. C'est le manque d'oxygène qui les provoque et il nous reste maintenant à établir le rapport qu'ils présentent avec la respiration dont on ne saurait les séparer. Retenons en outre ce deuxième fait : c'est que le contact est nécessaire entre l'animal et les hydrates de carbone pour que ceux-ci se dédoublent, ce qui montre l'action directe de la cellule vivante sur ces substances elles-mêmes ou sur les matières de réserve qu'elles ont formées et qui augmentent avec cette alimentation spéciale.

Historique. — Le phénomène de la résistance à l'asphyxie se produit donc chez les animaux comme chez les végétaux. Cette résistance est faible chez les animaux où les hydrates de carbone, glycogène du foie et hydrates assimilés, sont en petite quantité. Le glycogène augmen-

tant à la suite d'une alimentation riche en hydrates de carbone, la résistance dure plus longtemps lorsque l'animal est placé dans du glucose, du sucre, de l'amidon et de la dextrine. De même le glycogène étant plus abondant chez la moule que chez *Tapes*, la première résiste davantage.

Cependant, la résistance varie peu avec la nature et la quantité des matières nutritives, car l'organisation est relativement élevée chez les Lamellibranches où la mise en réserve est faible, la digestion localisée; les phénomènes vitaux présentent donc d'autant moins de résistance que les éléments s'épuisent vite à cette activité chimique qui détermine les phénomènes de dédoublement précédents; leur désorganisation en est sans doute la conséquence et ils deviennent impropres à l'exercice de la vie. Chez les végétaux où les hydrates de carbone sont abondants et disséminés dans tous les tissus, ces phénomènes sont plus accusés; il est probable que chez les animaux inférieurs, à tissus peu différenciés, et surtout, chez les Protozoaires, la résistance à l'asphyxie doit être plus prononcée et se rapprocher encore de celle des végétaux. Ce phénomène général chez tous les êtres vivants est intimement lié à la fonction de respiration dont il n'est qu'une des phases; mais avant de le considérer à ce point de vue, rappelons brièvement comment, depuis longtemps, il a été mis en évidence chez les végétaux et citons les différents faits qui se groupent autour de ce phénomène.

En 1869 Lechartier et Bellamy (1) montraient que des

1. Lechartier et Bellamy. *Comptes rendus*, 1869, t. LXIX, p. 366-466.

fruits sucrés, soustraits à l'action de l'oxygène, éprouvaient la fermentation alcoolique sans l'intervention de la levûre de bière. En 1872 Pasteur (1) étendait ses expériences à d'autres organes, tels que les racines, les feuilles. Muntz (2) (1878) soumettait une plante toute entière à l'asphyxie, en la privant d'oxygène, et il constatait aussitôt la production de l'alcool. L'année suivante (1879) Van Tieghem (3) mettait en évidence la fermentation alcoolique produite sur des racines de pommiers placées dans des conditions d'asphyxie par le manque d'air et Van Tieghem et Bonnier (4) étudiaient le même phénomène sur les tubercules (oxalis) et les bulbes (tulipes) renfermant des matières sucrées. Ces faits ont été, avec raison, rapprochés des phénomènes de dédoublement qui se produisent dans la fermentation alcoolique du glucose sous l'influence de la levûre de bière et si bien étudiés par Pasteur (5) : lorsque la plante n'a pas d'oxygène disponible elle essaye de s'en procurer en l'enlevant à des combinaisons plus ou moins fortes pour l'accomplissement normal de ses fonctions.

« La fermentation alcoolique s'est ainsi trouvée ramenée à une seule et même condition générale, nécessaire

1. Pasteur. *Comptes rendus*, 1872, t. LXXV, p. 784 et 1054.

2. Muntz. *C. rendus*, 1878, t. LXXXVI, p. 49.

3. Van Tieghem. *Sur une maladie de pommiers causée par la fermentation alcoolique de leurs racines* (*Bulletin de la Soc. de Botanique*), 1879, t. 26, p. 326.

4. Van Tieghem et Bonnier. *Bulletin de la Société de Botanique*, 1880, t. 27, p. 87-88.

5. Pasteur. *Etudes sur la bière*, ch. VI, p. 282, 1876.

à la fois et suffisante : l'asphyxie d'une cellule vivante en présence du sucre » (Van Tieghem) (1).

Pourquoi cette loi générale chez les végétaux ne s'étendrait-elle pas aux animaux? Déjà, en 1879, Dastre (2), dans un travail sur la glycémie, a examiné la question suivante : quelle est l'influence immédiate des grandes modifications de la respiration et en particulier de l'état asphyxique sur la quantité de sucre que contient le sang? Ses observations sur le lapin lui ont donné le résultat suivant : dans l'asphyxie rapide, en vase clos, la quantité de sucre varie en sens inverse de la quantité d'oxygène. Il a remarqué en outre que la quantité de sucre du sang peut diminuer à la suite d'un état asphyxique longtemps soutenu qui a amené l'épuisement des réserves sucrées; l'hypoglycémie est la conséquence indirecte de la prolongation de l'asphyxie, mais l'hyperglycémie en est l'effet direct et constant. Ces travaux du savant professeur de la Sorbonne ont été confirmés par ceux de T. Araki (3) et H. Zillesen (4), élèves de Hoppe-Seyler.

Mes recherches sur *Tapes*, en mettant en évidence la

1. Van Tieghem. *Bulletin de la Société de Bot., loc. cit.*, 1879, p. 326.

2. Dastre. *Glycémie asphyxique ou de la formation du sucre dans l'organisme sous l'influence du défaut d'oxygène. Comptes rendus des Séances et Mémoires de la Société de biologie*, 1879, t. I, p. 681 et 682.

3. T. Araki. *Formation d'acide lactique et de glucose dans l'organisme sous l'influence du défaut d'oxygène. Zeitschrift für Physiologische Chemie*, p. 335, 1891, mars.

4. H. Zillesen. *Zeitschrift für Phys. Chemie*, XV, p. 387, mai 1891. (Expériences sur le foie et les muscles.)

production de l'alcool sous l'influence de l'asphyxie expliquent l'hypoglycémie remarquée par notre savant maître, M. Dastre, à la suite de la prolongation de l'asphyxie. Le sucre a disparu parce qu'il s'est dédoublé en alcool et acide carbonique, et le sang du lapin, ainsi traité, devait renfermer de l'alcool ; le sucre a augmenté au début, parce que la formation du sucre est une des phases nécessaires à la production des substances qui seront le siège du dédoublement alcoolique.

Yung (1) a constaté que la submersion de l'escargot ralentit presque immédiatement les battements du cœur qui s'arrête en diastole. Les escargots de grande taille résistent mieux à l'asphyxie que ceux de petite taille, et en hiver mieux qu'en été. Ces observations sont analogues à celles que nous avons faites sur la Palourde. Yung (2) a remarqué en outre qu'à la suite d'une alimentation riche en fécule le glycogène augmente, et le glycogène qui est normalement localisé dans le tissu conjonctif du foie envahit les cellules glandulaires. Cela explique pourquoi l'alcool est produit en plus grande quantité quand Tapes est placé dans le glucose, le sucre, la dextrine et l'amidon que dans l'eau seule ; l'animal se nourrit de ces hydrates de carbone et la quantité de glycogène augmente ; celui-ci transformé en glucose est ensuite dédoublé.

Tous ces faits sont la conséquence d'une seule et même cause, la respiration.

1. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot*, *loc. cit.*, p. 93 et 19.

2. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot*, *loc. cit.*, p. 60-61.

Le phénomène asphyxique commence donc par une augmentation de sucre dans l'organisme en provoquant la transformation chimique des substances ternaires et plus particulièrement celle des hydrates de carbone ; si la résistance à l'asphyxie se prolonge, le sucre produit se dédouble en alcool et acide carbonique; c'est l'acte final. Il est probable que les phénomènes vitaux de la nutrition se rapprochent du phénomène de la fermentation : les cellules vivantes se comporteraient par rapport à l'aliment comme les cellules de la levûre de bière se comportent par rapport au glucose ; le résultat en est la nutrition et la respiration.

Si l'oxygène existe en grande quantité, les échanges gazeux de la respiration se font sans dédoublement sensible de glucose ; dans le cas contraire, comme dans un air confiné ou en l'absence d'oxygène, les cellules vivantes essayent de se procurer de l'oxygène aux dépens des hydrates de carbone qui à cet effet se dédoublent, comme le prouve la production de l'acide carbonique et de l'alcool.

Les êtres vivants inférieurs (levûre, mucor) résistent pendant longtemps ; les êtres vivants supérieurs (végétaux, animaux) s'épuisent vite à ce jeu et ne tardent pas à périr. Nous croyons que ce phénomène est encore plus général et qu'il n'est qu'une des phases du mécanisme compliqué de la respiration. Celle-ci consisterait, en apparence, en une absorption d'oxygène et en un dégagement d'acide carbonique et de vapeur d'eau ; mais, entre ces deux actes, il se produirait des réactions intermédiaires telles que la production du sucre et son dédou-

blement en alcool et acide carbonique(l'acide carbonique dégagé proviendrait en grande partie de ce dédoublement). Ces réactions intermédiaires ne seraient sensibles que dans des conditions particulières (l'asphyxie) ; mais elles seraient générales chez les êtres vivants et se produiraient dans la profondeur des tissus.

Dans ce cas, le sucre ou le glycogène doit se trouver dans tous les tissus, et c'est ce qui a été mis en évidence par les nombreux travaux de Claude Bernard (1), de Hoppe-Seyler (2), Bertkau (3), Krukenberg (4), Max Weber(5), Frenzel (6), Bourquelot (7), Barfurth (8), Yung (9), Landwer (10), d'après lesquels le glycogène existe non

1. Cl. Bernard. *Recherches sur une nouvelle fonction du foie.* (*Annales des Sciences naturelles,* 3e série, t. XIX, 1853, p. 330-333 et *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, t. II, p. 110-102.

2. Hoppe-Seyler. *Unterschiede in chemischen Bau und der Verdaung höherer und niederer Thiere. Pflüger's Archiv.*, t. XIV, p. 399.

3. Bertkau. *Ueber den Bau und die Funktion der Sog. Leber bei den Spinnen. Arch. für Mikrosk. Anatomie*, t. XXIII p. 224.

4. Krukenberg. *Ueber Reservestoffe. Vergl. Physiol. Studien.* 2e Abth, 1880, p. 59.

5. Max-Weber. *Ueber den Bau und die Thätigkeit der Sog. Leber der Crustaceen. Arch. f. Mikrosk. Anat.*, t. XVII, p. 459.

6. Frenzel. *Ueber die Mitteldarmdrüse der Crustaceen. Mitth. aus d. zool. Station zu Neapel*, t. V, 1885.

7. Bourquelot. *Recherches sur les phénomènes de la digestion chez les Mollusques Céphalopodes. Arch. de zool. expérimentale*, 2e série, t. III, 1885, p. 3-6 et suiv.

8. Barfurth. *Vergleichend-histochemische Untersuchungen über das Glycogen. Arch. für Mikrosk. Anat.*, t. XXV, 1885, p. 259-261-328.

9. Yung. *Physiol. de l'Escargot, loc. cit.*, p. 56 et suiv.

10. Landwer. *Eine neue Methode zur Darstellung und quantitativen Bestimmung de Glycogens. Zeitschr. f. physiol. chemie*, t. VIII, p. 165, 1884.

seulement dans le foie, mais aussi dans tous les autres tissus de l'organisme, au point que chez les invertébrés adultes, il est généralisé dans la masse entière du corps, comme c'est la règle chez les embryons des vertébrés (1). Si chez les mammifères, le glycogène est surtout localisé dans le foie, cela tient à ce que le sang de cette glande est peu riche en oxygène ; l'organe se trouve donc dans les conditions d'asphyxie. Il y a ainsi une relation entre la production de glycogène et le manque d'oxygène, c'est-à-dire la résistance à l'asphyxie ; nous savons, d'après Dastre (2), que la quantité de sucre disséminée dans chaque partie de l'organisme est en raison inverse de la richesse du sang en oxygène en ce point. Ce sucre est utilisé pour la nutrition et la respiration.

Si dans les tissus on ne trouve guère d'alcool, cela tiendrait à la combustion de l'alcool par l'oxygène absorbé. « Tel serait, d'après Van Tieghem, (3) l'emploi principal de l'oxygène absorbé, et l'alcool étant nuisible au végétal, on en comprendrait en même temps la nécessité. » On comprend alors pourquoi l'acide carbonique dégagé est en moindre quantité que l'oxygène absorbé dans le même temps.

La réaction suivante :

(1) $$C^2H^6O + 6O = 2CO^2 + 3H^2O$$

nous montre que 6 volumes d'oxygène donnent 4 volumes d'acide carbonique.

1. Cl. Bernard. *Loc. cit.*
2. Dastre. *Loc. cit.*, p. 681.
3. Van Tieghem. *Traité de Botanique*, 1884, p. 163.

D'un autre côté, le dédoublement du glucose donne aussi 4 volumes d'acide carbonique,

$$(2) \qquad C^6H^{12}O^6 = 2CO^2 + 2C^2H^6O.$$

Cet acide carbonique a une origine bien différente de celui qui provient de la réaction (1) ou des réactions analogues, où, toujours, l'acide carbonique dégagé a un volume moindre que l'oxygène absorbé.

L'acide carbonique renferme son volume d'oxygène; donc si l'acide carbonique de la respiration provenait de la réaction (1) ou des réactions analogues (combustion des tissus) il y aurait une relation nécessaire entre le volume de l'oxygène absorbé et celui de l'acide carbonique dégagé; mais si l'acide carbonique provient aussi, comme nous le croyons, de la réaction (2), il n'y a plus de relation nécessaire entre ces deux volumes dont le rapport n'est pas constant et varie suivant que la réaction (2) se produit sur une plus ou moins grande quantité de sucre. Toute cause qui agira sur la proportion de sucre de l'organisme et sur son dédoublement amènera des variations de ce rapport.

Pour nous résumer, la respiration consisterait : 1° en une absorption d'oxygène; 2° en une série de réactions internes telles que la production du glucose et du glycogène, le dédoublement du glucose en alcool et acide carbonique, la combustion de l'alcool par l'oxygène; 3° en un dégagement de vapeur d'eau et d'acide carbonique qui proviendrait de la combustion de l'alcool, du dédoublement du glusose, de manière que le rapport $\frac{\text{Vol. } CO^2}{\text{Vol. } O} \lesseqgtr 1.$

Si l'oxygène arrive en grande quantité dans les tissus, l'alcool est brûlé au fur et à mesure de sa production ; dans le cas contraire, il s'emmagasine dans les tissus.

VII

VITALITÉ DES TISSUS

a. — *La contractilité musculaire persiste sur l'animal pendant deux jours après la destruction du cœur et* 3 *jours* 1/2 *après la destruction des ganglions nerveux.*

b. — *La contractilité musculaire persiste* 15 à 20 *heures sur le cœur complètement séparé et* 2 à 3 *jours* 1/2 *sur les muscles des siphons complètement séparés et placés dans l'eau de mer.*

Les tissus présentent une très grande vitalité chez les Tapidées. Voici comment j'ai pu m'en assurer chez *T. pullastra* où j'ai observé la contractilité des muscles des siphons et du cœur séparés, et chez *T. decussata* où j'ai observé la contractilité musculaire après destruction du cœur ou des ganglions nerveux.

La contractilité des muscles est une des propriétés les plus essentielles de ces tissus : nous pouvons donc dire que, tant qu'elle se manifestera spontanément dans les tissus, ceux-ci seront encore vivants ; en un mot, la vitalité est révélée par la contractilité.

Mes expériences ont été faites à deux points de vue différents :

1° J'ai étudié la vitalité des tissus en place après la

destruction d'organes importants, essentiels, tels que le cœur et les ganglions nerveux;

2° J'ai étudié la vitalité des tissus complètement séparés.

Expériences : — 1° *Extirpation du cœur.* — Le cœur est complètement enlevé et l'animal est placé dans l'eau de mer. Les contractions musculaires, provoquées avec une aiguille,sont d'abord très vives; mais elles s'affaiblissent progressivement et au bout de 2 jours, 2 jours 3 heures, elles ont complètement disparu. A ce moment, elles ne se produisent plus, même sous l'influence du courant électrique.

2° Les *ganglions nerveux* sont détruits avec une aiguille chauffée au rouge, ce qui évite une déperdition trop forte du sang; l'animal est placé dans l'eau de mer.

Le cœur continue à battre pendant 2 jours 1/2, mais les pulsations diminuent rapidement; le dernier jour elles sont réduites à 3—2—1 par seconde.

La contractilité musculaire, constatée comme précédemment, persiste pendant 2 jours 1/2 et même 3 jours 1/2, comme je l'ai observé sur un *Tapes decussata*. Après la disparition de la contractilité, les muscles du pied et des siphons sont raides et allongés.

La variation des pulsations cardiaques, après la destruction des ganglions, sera étudiée plus loin, p. 47.

Tissus séparés. — a. *Cœur.* — b. *Muscles.*

a. — Le cœur étant complètement séparé, on le place dans l'eau de mer. Il est alors fortement contracté, mais il continue à battre.

Les mouvements de systole et de diastole sont faibles; mais la contraction dans le sens de sa longueur est forte. On remarque en outre, au début, des mouvements autour de l'axe longitudinal; on dirait qu'il veut tourner sur lui-même.

L'arrêt a lieu en systole et le cœur a l'aspect globuleux; il est ramassé sur lui-même. Tant qu'il est ramassé il continue à vivre, bien qu'il soit immobile; en effet, lorsque toute vitalité a disparu, il se relâche et il s'étale.

La température extérieure étant 18°, j'ai observé les *pulsations* en différentes circonstances, pendant 9 h., 10 h., 14 h., 15 h., 20 et 21 heures.

b. — Pour observer les muscles, on coupe rapidement les siphons de *Tapes pullastra* lorsqu'ils sont bien épanouis et allongés; on les place ensuite dans l'eau de mer. Après une heure de repos, ils s'épanouissent avec leurs tentacules périphériques qui sont d'une grande sensibilité; ceux-ci se contractent lorsqu'on les touche et permettent de savoir quand les siphons sont morts. Au fur et à mesure que la contractilité s'affaiblit, les siphons un peu contractés, s'allongent, s'étalent, deviennent flasques; après leur mort, ils ont une longueur double et même triple de celle qu'ils avaient lorsqu'on les a placés dans l'eau après leur brusque séparation du corps.

Sur des siphons ainsi préparés, la température étant 18°, la contractilité a persisté : 2 jours 1/2, 3 jours, 47 heures et même 4 jours.

Les premières expériences montrent que la destruction du cœur amène plus rapidement la mort que celle des ganglions nerveux. Je ne pense pas qu'on puisse con-

clure de là, que l'appareil circulatoire est plus important que le système nerveux ; si la contractité disparaît plus tôt dans le premier cas, c'est que les tissus perdent rapidement leur sang et ne se trouvent plus dans les mêmes conditions intrinsèques.

La comparaison de ces premières expériences avec les dernières établit, au contraire, l'importance de ces appareils, car, l'animal en étant privé, les tissus se comportent comme s'ils étaient complètement séparés ; la vitalité propre des tissus est sensiblement la même dans les deux cas.

Et maintenant, que conclure de la persistance pendant quinze et vingt heures des pulsations du cœur, complètement séparé, de *Tapes decussata* et *T. pullastra?*

Le tissu musculaire du cœur est-il spontanément contractile, ou doit-il sa contractilité à des ganglions nerveux disséminés dans la masse? Des observations directes, faites dans le but de trouver des ganglions ou des filets nerveux, ne m'ont conduit à aucun résultat positif; cependant on sait que partout où la contractilité persiste pendant un certain temps, elle semble due à des masses nerveuses spéciales. Ce qui est à noter, c'est la grande persistance de cette contractilité autonome du cœur et de la vitalité des muscles.

Historique. — Des observations analogues ont été faites depuis longtemps chez les vertébrés et chez les invertébrés.

Haller (1) cite les cas suivants de persistance de l'irri-

1. Haller. *Elementa physiologiæ*, t. I, p. 471.

tabilité du cœur séparé, observée par différents auteurs :

Chez l'homme, les mammifères et les oiseaux, l'irritabilité persiste quelques minutes.

Chez l'anguille, l'irritabilité persiste 6 h. (Leuwenhock).

Chez la torpille, l'irritabilité persiste 9 h. (Redi).

Chez le saumon, l'irritabilité persiste 24 h. (Montanus).

Chez les reptiles, l'irritabilité persiste plus longtemps.

Chez le hérisson, l'irritabilité persiste 2 h. (Templer).

D'après Castell (1), le cœur de la grenouille séparé bat pendant plusieurs heures à l'air et 12 heures dans l'oxygène.

Schiff (2) prétend que la puissance contractile du cœur s'engendre dans cet organe.

Yung (3) a observé pendant 1/4 d'heure et plus, les battements d'un cœur de mye.

Richard (4) a vu un escargot vivre pendant 3 jours après l'extirpation du cœur. Yung (5) a vérifié ce fait et constaté que l'escargot pouvait vivre 4 ou 5 jours en hiver; la destruction complète des ganglions sous-œso-

1. Castell. *Ueber das Verhalten des Herzens in verschiedenen gasarten. Müller's Archiv. für Anat. und Phys.*, 1854, p. 248.

2. Schiff. *Ueber der modus der Herzbewegung. Arch. für phys. Heilk*, t. IX.

3. Yung. *De l'Innervation du cœur chez les Lamellibranches. In Archives de zoologie expérimentale*, publiées sous la direction de H. de Lacaze-Duthiers, t. IX, p. 425, 1881.

4. Richard. *Recherches physiologiques sur le cœur des gastéropodes pulmonés* (Extraits de la *Revue d'Auvergne*).

5. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot*, 1886. p. 92 et p. 79.

phagiens entraîne rapidement la mort. Foster (1) n'admet pas l'existence d'éléments nerveux dans le cœur de l'escargot. Dogiel (2) y admet, au contraire, des cellules nerveuses apolaires chez les Lamellibranches et les Gastéropodes. Biedermann (3) n'a rien trouvé chez Helix. Yung (4) a trouvé chez Helix les cellules apolaires de Dogiel, mais, avec Ransom (5), il les considère comme de simples cellules plasmatiques interstitielles de nature conjonctive. Chez les Lamellibranches, Yung (6) admet des éléments nerveux dans l'épaisseur des parois du cœur.

Les faits précédents nous montrent que l'innervation du cœur des Gastéropodes et des Lamellibranches n'est pas encore élucidée ; la physiologie semble l'établir, mais l'anatomie ne l'a pas encore nettement démontrée.

Remarquons cependant que l'irritabilité diminue rapidement chez les vertébrés et qu'elle persiste pendant longtemps chez les invertébrés ; chez les premiers, l'innervation du cœur est réelle, et chez les deuxièmes elle est douteuse. L'irritabilité n'est-elle pas une propriété générale du protoplasma, indépendante de la différenciation des tissus?

1. Foster. *Ueber einen besonderen Fall von Hemmungswirkung. Pflüger's archiv.*, t. V, 1872. p. 191.

2. Dogiel. *Die Muskeln und Nerven des Herzens bei einigen Mollusken.* (*Arch. für Mikrosk Anatomie*, t. XIV, 1877, p. 59.)

3. Biedermann. *Ueber das Herz von Helix pomatia.* (*Sitzungsberg, D. K. Akad. der Wiss. Wien*, 1884, F. LXXXIX, p. 19.)

4. Yung. *Contributions à l'histoire phys. de l'escargot*, p. 89.

5. W. B. Ransom. *On the cardiac rhythm of Invertebrata.* (*Journ. of Physiol.*, t. V, 1885, p. 261.

6. Yung. *De l'innervation du cœur chez les Lamellibranches. Loc. cit.*, p. 429.

VIII

PHYSIOLOGIE DU CŒUR

Le cœur des Tapidées est placé au-dessus de la base des branchies et au-dessous du ligament; le ventricule est pyriforme et riche en faisceaux musculaires. Il y a deux oreillettes parfaitement symétriques et longeant le ventricule comme une paire d'ailes; leurs parois sont minces et pourvues de fibres musculaires. Enfin, ces animaux possèdent une dilatation post-ventriculaire plus ou moins cordiforme et se continuant par l'aorte postérieure.

J'ai étudié la variation des pulsations cardiaques : 1° après la rupture du péricarde; 2° après la destruction des ganglions nerveux; 3° dans différents milieux et sous l'action de différents agents extérieurs.

Expériences. — Les expériences ont été nombreuses. D'abord, j'ai essayé de suivre les pulsations cardiaques sur un *Tapes* dont le péricarde était intact; mais elles sont difficiles à observer.

Cependant, autant que j'ai pu le constater, leur rythme est régulier et les pulsations ventriculaires alternent avec les pulsations auriculaires; les animaux à péricarde intact vivent pendant trois jours dans l'eau de mer; la mort survient par la perte abondante de sang qu'ils subissent.

a. — RUPTURE DU PÉRICARDE

Les pulsations sont faciles à observer après la rupture du péricarde ; les tableaux suivants montrent la marche des pulsations d'abord à l'air libre puis dans l'eau de mer.

Le résultat est le suivant : « *La rupture du péricarde détermine le gonflement immédiat du cœur suivi d'une grande agitation pendant 5 minutes. Les pulsations redeviennent ensuite régulières et diminuent, le cœur s'arrête plus tôt que si le péricarde est intact ; dans l'eau de mer, il s'arrête plus tôt qu'à l'air libre.* »

Observations sur les pulsations. — L'animal est exposé à l'air libre ou dans l'eau de mer ; les pulsations sont rythmiques et régulières cinq minutes après la rupture du Péricarde. La systole et la diastole auriculo-ventriculaires alternent régulièrement ; les pulsations ventriculaires durent plus longtemps que les pulsations auriculaires. Dans chaque cas, la durée de la diastole est égale à la durée de la systole ; mais, l'arrêt du cœur après la diastole ventriculaire est plus grand que l'arrêt après la systole ; donc, le repos du cœur a lieu après la diastole.

Nota : Les pulsations auriculaires déterminent des oscillations particulières du ventricule dans la région auriculo-ventriculaire.

Ces oscillations peuvent devenir une cause d'erreur lorsqu'on compte les pulsations ventriculaires, devenues très nombreuses, pour une cause quelconque. Comme nous le verrons, dans la suite, sous l'influence de la chaleur, de certains réactifs, les mouvements du cœur deviennent irréguliers ; le ventricule est lent, paresseux ;

les oreillettes peuvent donner des pulsations nombreuses. Il est difficile alors de distinguer nettement, sans une grande attention, les pulsations propres du ventricule des mouvements oscillatoires déterminés par les pulsations auriculaires. Pour éviter cette cause d'erreur, nous observons toujours les *systoles ventriculaires*.

Les observations faites sur 6 échantillons de même taille $\frac{4,5}{3,6}$ nous ont donné les résultats suivants :

Heures	Air libre — Pulsations à la minute (T. déc. $t = 18^0$)	Dans l'eau de mer — Pulsations à la minute
5 minutes après la rupture du péricarde	12	12
15 m.	10	12
30	10	12
1 heure	9-8	12
1 1/2	9-8	12
2	8	11
3-8 h.	8	10-6
9	6-7	6
10-15	6	6-5
15-20	5-6	5-4
20-25	5	4
25-28	4	4
28-35	4-3	4
35-40	3	4-3
40-45	3-2	2-1
46		0
50-55	2	
55-60	2-1	
60-61	0	

D'après ce tableau, les pulsations diminuent progressivement dans les deux cas ; l'arrêt du cœur se fait plus lentement (60 h.) à l'air libre que dans l'eau de mer (45 h.).

Le cœur s'arrête en demi-systole.

Historique.— Foster, Biedermann et Yung (1) ont constaté l'altération du jeu cardiaque à la suite d'une déchirure du péricarde chez l'escargot. Ransom (2) nie cette altération du jeu cardiaque après la rupture du péricarde. Yung (3) a constaté en outre qu'au bout d'un temps, relativement court, la régularité se rétablit. Nos observations précédentes sur *T. decussata* établissent la chute du nombre de pulsations au bout de 2-3 heures; mais la régularité se maintient jusqu'à la fin. Les expériences peuvent donc être faites sur le cœur, après la rupture du péricarde; la marche des pulsations indiquera assez exactement l'action des agents extérieurs, physiques ou chimiques, sur l'organisme.

b. — DESTRUCTION DES GANGLIONS NERVEUX.

La destruction des ganglions nerveux détermine un ralentissement rapide des pulsations cardiaques et l'arrêt du cœur en systole.

Expériences. — Les ganglions sont détruits avec une aiguille chauffée.

Lorsqu'on brûle les ganglions sous-œsophagiens, l'exci-

1. In Yung. *Contribution à l'histoire physiologique de l'escargot*, p. 93.
2. *Id.*
3. *Id.*

tation produite détermine les mouvements du pied ; pour les ganglions sous-intestinaux il se produit des mouvements des siphons et du manteau du même côté que le ganglion détruit.

Après la destruction rapide et complète des ganglions, voici la marche des pulsations observées sur 4 *T. decussata* $\frac{4,5}{3,5}$ $t=16^{\circ}$.

Le péricarde étant ouvert, le cœur donne, 5 minutes après :

	14 pulsations à la minute.	
1/4 h. après	8	
1/2	5	Arrêt du cœur après la diastole.
3/4	5	Id.
1	4	La diastole est très forte.
2	4	
3-20	4	
20-25	3-2	Cœur globuleux.
25-40	1	
40-45	1-0	Arrêt en systole.

L'animal est observé à l'air libre.

Ce tableau comparé au tableau précédent de la page 46 nous montre l'influence des ganglions nerveux sur les pulsations cardiaques, telle que nous l'avons déterminée plus haut.

Historique. — Des expériences analogues faites par Vulpian (1) et Yung (2) sur l'escargot et les Lamellibran-

1. Vulpian. *Leçons sur la Physiologie du système nerveux*, Paris, 1866, p. 761.

2. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot*, p. 79.

ches ont donné les résultats suivants : l'escargot meurt promptement après la destruction complète des ganglions sous-œsophagiens ; mais les mouvements rythmiques du cœur continuaient et Vulpian en conclut que ces ganglions ne sont pas les centres nerveux des mouvements du cœur.

Mais l'Arion dont la partie antérieure du corps a été complètement brûlée ne meurt que 36 heures après; 18 h. après, le cœur donne encore 4 pulsations à la minute (Yung) (1). Chez les Lamellibranches, Yung (2) a remarqué que la séparation du cœur de ganglions œsophagiens et des ganglions pédieux n'altère pas sensiblement les mouvements cardiaques. (Expériences sur *Anodonta anatina, Mya arenaria, Solen ensis*).

D'après nos observations, l'extirpation des ganglions nerveux de *T. dec.* a un retentissement important sur le cœur dont le ralentissement se manifeste aussitôt; j'en conclus que la circulation est sous la dépendance immédiate du système nerveux dont tous les centres paraissent solidaires au point que l'altération ou la destruction de l'un d'eux détermine des troubles cardiaques.

b. — L'action du milieu et de différents agents sur le cœur sera étudiée dans les chapitres suivants, IX, X, XI.

1. Yung. *Loc. cit.*, p. 84.
2. Yung. *De l'innervation du cœur chez les Lamellibranches. Loc. cit.*, p. 429.

IX

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ. $t = 18^\circ$

a. — ACTION DU COURANT ÉLECTRIQUE SUR LES GANGLIONS NERVEUX

1° *L'action du courant est directe.*

2° *Un courant d'induction (30 décharges), qui agit sur les ganglions sons-intestinaux, détermine, après une surexcitation très courte, un ralentissement des pulsations cardiaques et l'arrêt du cœur en un temps assez court.*

3° *Le même courant d'induction agit sur les gauglions cérébroïdes d'une manière analogue, mais un peu plus énergiquement.*

4° *Le même courant agissant sur tous les ganglions produit les effets précédents plus accentués.*

Conclusion générale. — *L'électricité agissant sur les ganglions nerveux détermine un ralentissement du cœur qui ne tarde pas à s'arrêter en systole.*

Nota. — Une seule fois, le cœur s'est arrêté en diastole.

Expériences. — Je me suis servi dans cette étude de la pince électrique et du chariot de du Bois-Reymond (petit modèle de Gaiffe) qui donne des séries de choc d'induction dont on peut régler et mesurer l'intensité. Cet appareil était actionné par un couple de Grenet au bichromate de potasse et acide sulfurique.

Les électrodes de platine pouvaient être éloignées ou rapprochées à volonté. J'ai utilisé le courant induit d'intensité maximum et je l'ai fait agir successivement : 1° sur les ganglions sous-intestinaux ; 2° sur les ganglions céré-

broïdes ; 3° sur tous les ganglions ; d'un côté j'ai observé les mouvements produits par cette décharge électrique, de l'autre j'ai étudié son action sur le cœur. Toujours l'action du courant a été directe ; à l'excitation des ganglions sus et sous-œsophagiens correspondent des mouvements de la bosse, du pied et des bords antérieurs du manteau ; à l'excitation des ganglions sous-intestinaux correspondent des mouvements des siphons, des bords postérieurs du manteau et un peu de la bosse, ce qui répond à l'innervation de ces organes.

Nombre des pulsations. — *a. Ganglions sous-intestinaux. — 30 décharges.*

$$T.\ d. \frac{3{\cdot}5}{2.5}$$

Avant les décharges, le cœur donnait 12 pulsations à la minute.

	a	*b*	
5 minutes après	16	20	Le cœur est fortement
15	14	15	contracté ; les pulsations
30	10	12	sont moins amples, mais
1 h.	10	12	restent très fortes.
2	8	11	Arrêt après la diastole.
3	6	8	
4	4	5	
5-10	3	4-3	
12	0	2-1	
15		0	Systole.

Ces mêmes expériences répétées sur 6 échantillons ont donné des résultats analogues. L'arrêt du cœur en systole

a toujours eu lieu après 15 heures, sauf dans un cas où il est survenu après 20 heures seulement.

Si on augmente le nombre des décharges sur les ganglions sous-intestinaux, le cœur se met presque en systole et les pulsations sont très petites.

b. — Ganglions cérébroïdes. — 30 décharges

T. d. $\frac{3.5}{2.5}$. Avant les décharges, le cœur donnait 12 pulsations à la minute.

	a		b	
5 minutes après	14	pulsations à la minute	14	
15	15		14	
30	12		13	
1 h.	9		10	
2	5		7	
3	5		5	
4	5		5	
5-8	3		3	
10	0		2	
15			0	Systole.

Les pulsations sont plus petites et le cœur est plus contracté que précédemment. Le cœur s'arrête en systole ; il est allongé et fusiforme.

Les mêmes expériences ont été répétées sur deux échantillons plus grands 5/4 ; il y a eu ralentissement des pulsations, mais l'arrêt du cœur en systole ne s'est fait qu'au bout de 27 heures et de 30 heures.

c. — Ganglions sous-intestinaux, sous et sus-œsophagiens. — 60 décharges.

T. d. $\frac{3.5}{2.5}$. Avant l'expérience le cœur donnait 12 pulsations à la minute.

5 minutes après	9 pulsations à la minute ; le cœur est contracté.
15 —	6 pulsations à la minute ; le cœur est contracté.
30	6
1 h.	5
2 h.	4
3-6	3
6-7	2-1
8	0 Systole,

Cinq échantillons ont donné les mêmes résultats ; dans un seul cas, l'arrêt du cœur ne s'est fait qu'au bout de 15 heures.

b. — ACTION DIRECTE DU COURANT ÉLECTRIQUE SUR LE CŒUR

$t = 18°$

1° *Quelques faibles décharges d'induction sur le cœur même déterminent une surexcitation de cet organe ; les pulsations deviennent plus nombreuses.*

2° *Des décharges d'induction fortes, sur le cœur ou sur le péricarde, déterminent de vives et rapides contractions cardiaques ; après une légère surexcitation le cœur se met en systole. Les pulsations reprennent quelques minutes après (10 m.) Le cœur reste en systole, si les décharges sont fortes et nombreuses.*

EXPÉRIENCES. — Ces décharges ont été faites sur le

cœur mis à nu ou sur le péricarde ; dans ce dernier cas, on mettait le cœur à nu après l'expérience. Dans les deux cas, les résultats sont les mêmes.

L'écart des électrodes était de 1 millimètre,

Avant la décharge, le cœur donnait 12 pulsations à la minute.

Pendant l'expérience (5 décharges de la bobine développée) le cœur s'est fortement contracté et s'est mis en systole.

8 minutes après	24	pulsations petites ; le cœur se repose, puis se roule comme s'il subissait des contorsions.
10	14	
15	12	
30	10	
1 h.	8	
2-6	6	
7-9	5-4	
10-12	3-1	
15	0	Systole.

Avec 3 décharges faibles, le cœur donne encore 15 pulsations après 10 heures ; 10 après 16 heures ; il s'arrête après 20 heures.

Quatre autres échantillons se sont comportés de même ; l'arrêt du cœur est survenu après 15 à 20 heures.

En augmentant le nombre des décharges de la bobine à son maximum d'intensité, le cœur se contracte fortement et il reste en systole.

Nous avons vu que la décharge électrique sur les ganglions détermine l'arrêt du cœur en 15 heures environ ;

cela tient probablement à ce que le courant titanise les muscles, ce qui amène, plus rapidement, la mort du cœur.

Je reconnais que toutes ces expériences, sauf celles qui se rapportent à l'action directe de l'électricité sur le cœur présentent une certaine indécision; en effet, il est difficile de faire agir le courant exclusivement sur les ganglions nerveux, qu'on ne peut guère isoler; il peut donc se produire des dérivations du courant sur les muscles et les ligaments voisins rendus bons conducteurs par leau salée.

Ce qui est incontestable cependant, c'est l'influence du système nerveux sur le rythme du cœur et la persistance des pulsations après la décharge électrique. Il faut que celle-ci soit très forte pour amener l'arrêt du cœur; son ralentissement survient au contraire tout de suite, même pour les faibles décharges. Il me semble, d'après ces expériences, que l'électricité amène difficilement la mort de l'animal.

Historique. — L'action de l'électricité sur les centres nerveux a surtout été étudiée chez les vertébrés.

Chez les invertébrés, on a montré l'existence de nerfs accélérateurs et de nerfs d'arrêt au moyen des courants d'induction.

Paul Bert (1) a arrêté en diastole le cœur de la sépia

1. P. Bert. *Mémoire sur la physiologie de la Seiche. In Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 1867, t. V, p. 66.

par un courant d'induction ; de même Fredericq (2) a distingué chez le Poulpe des nerfs accélérateurs et des nerfs d'arrêt. Yung(3) a montré l'influence de l'excitation des ganglions branchiaux sur le cœur des Lamellibranches; chez la Mye, il y a une légère surexcitation et les contractions sont plus puissantes; il en est de même chez le Solen. L'excitation du ganglion œsophagien droit de la mye détermine le gonflement du cœur dont les contractions plus intenses deviennent plus laborieuses. Chez l'escargot, Yung a trouvé des résultats analogues à ceux que nous a fournis *Tapes decussata,* mais il n'a pas pu mettre en évidence les nerfs accélérateurs du cœur, dont il ne nie pas cependant l'existence. L'habileté de ce savant est bien connue; il me suffira de signaler ce fait, pour montrer la difficulté de ces expériences dont la délicatesse tient en échec des physiologistes aussi consommés, et pour trouver une excuse à l'indécision que j'ai signalée plus haut dans mes expériences que je n'ai pas poussées plus loin.

Nota. — *T. pullastra, Artemis lincta* et *Mya arenaria* m'ont donné les mêmes résultats que *T. decussata.*

1. L. Fredericq. *Recherches sur la physiologie du Poulpe commun (Octopus vulgaris). Arch. de zoologie expérimentale*, publiées sous la direction de H. de Lacaze-Duthiers, 1878, t, VII, p. 24.

2. Yung. *Innervation du cœur des Lamellibranches. Loc. cit.*, p. 425-429.

3. Yung. *Contributions à l'histoire physiologique de l'escargot, loc. cit.*, p. 95 97.

X

VARIATION DES CONDITIONS EXTÉRIEURES : *a*. TEMPÉRATURE. *b*. MILIEU.

a. Température ou action de la chaleur. — 1° *La chaleur agit comme un excitant.*

2° *Toute élévation de température détermine une surexcitation des mouvements cardiaques ; la mort survient toujours plus vite.*

3° *Une température de* 45° *pendant un quart d'heure détermine la mort et le cœur s'arrête en systole.*

4° *La température maximum immédiatement mortelle est de* 55° *à l'air et de* 50° *dans l'eau.*

5° *Les hautes températures sont supportées plus longtemps dans l'air humide que dans l'eau.*

Expériences. — Nous sommes arrivé à ces résultats après des expériences nombreuses et variées que nous avons divisées en six catégories :

1° L'animal ouvert ou intact est placé dans une étuve à température constante (air chaud).

2° Il est placé dans l'eau de mer à température constante.

3° Il est soumis dans l'étuve à l'action d'une température progressivement élevée.

4° Détermination du temps pendant lequel *T. decussata* supporte une température déterminée.

5° Détermination de la température immédiatement mortelle.

6° Action d'une température relativement élevée pendant un temps déterminé.

Expériences. — 1° L'animal étant ouvert comme je l'ai indiqué, p. 5-6, est placé dans une étuve à porte vitrée et à température constante ; 4 échantillons 5/4 nous ont donné les résultats suivants :

Etuve. — T. = 25°. Pulsations normales : 12 à la minute.

5 minutes après	14	pulsations à la minute, amples,
15	14	régulières.
30	12	
1 h.	12	Les oreillettes sont exaltées ;
2	10	leurs pulsations sont nom-
3	10	breuses.
4-15	10	
16-18	9	
20-21 h	6	
22	5	
23-26	4	
27-28	3	
29	2-1	
30	1	
32	0	Systole.

T. pullastra $\frac{3.5}{2.2}$ a donné les mêmes résultats.

Dans tous les cas, les pulsations sont plus fortes et plus amples qu'à la température ordinaire ; mais la mort survient plus vite.

Expériences. — 4 échantillons 5/4 ouverts et le cœur nu.

Etuve. — T. = 30°. Pulsations normales : 12 à la minute.

5 minutes après	15 pulsations à la minute.	
15	18	
30	20	
1 h.	15	A un certain moment, 20-24 heures après, les pulsations ventriculaires sont très petites et se confondent avec les pulsations auriculaires ; il faut éviter cette confusion.
2	12	
3	12	
4	10	
5-10	8	
10-15	7	
15-20	6-5	
20-25	5-3	
26-27	2	
28	0	Systole.

Mêmes expériences et mêmes résultats avec *T. pullastra* $\frac{2.5}{2}$; la mort est survenue au bout de 20 heures.

A 30 degrés le cœur est donc surexcité et la mort survient plus vite qu'à 25°.

Expériences. — 4 échantillons 5/4. Cœur nu.

Etuve. — T.=35°. Pulsations normales : 12 à la minute.

	a	*b*	
5 minutes après	20	22	
15	20	23	
30	26	28	
1 h.	28	30	Les pulsations sont très petites.
2	26	30	
3	20	24	

4-5	20	24	
6	14	16	
7	8	9	
8	6	6	
9	4	4	
10	2	2	
11	1	1	
12	0	0	Systole.

Mêmes expériences et mêmes résultats avec *T. pullastra* et *T. aurea* $\frac{3.5}{2.2}$.

Donc, à 35°, grande surexcitation du cœur; la mort survient plus vite qu'à 30°.

Expériences. — 5 échantillons $\frac{5.5}{4.2}$. Cœur nu.

Etuve. — T. = 40°. Pulsations normales : 12-13 à la minute.

5 minutes après	26	pulsations à la minute.
15	20	Les mouvements du cœur
30	16	ressemblent plutôt à des on-
1 h.	8	dulations.
1 h. 1/2	6	
1 h. 3/4	5	
2	3	
3-6	2	
8-9	0	Systole.

Nota. — Les mouvements du cœur disparaissent en dernier lieu dans la région auriculo-ventriculaire. Y a-t-

il dans cette région des nerfs ou des ganglions nerveux? Des recherches directes faites dans ce but ne m'ont donné aucun résultat.

Mêmes expériences et mêmes résultats avec *T. pullastra* $\frac{3.5}{2.6}$; mais l'arrêt du cœur survient au bout de 2 ou 3 heures.

Une température de 40° produit donc une grande excitation du cœur suivi d'un rapide affaiblissement de l'organe; la mort survient au bout de 8 ou 9 heures.

Expériences. — 4 échantillons $\frac{5.5}{4.1}$. Cœur nu.

Etuve. — T. = 45°. Pulsations normales : 12-13 à la minute.

5 minutes après	24 pulsations à la minute.	
15	26	
25	2	
30	0	Systole.

Expériences. — 4 échantillons $\frac{5.5}{4.1}$. Cœur nu.

Etuve. — T. 50°. Pulsations normales : 12-13 à la minute.

5 minutes après	38	
15		Le cœur se roule et il est difficile de compter les pulsations.
25	0	Systole.

Expériences. — Etuve. T. = 55°.

2 minutes après	38	
5	36	
10	0	Systole.

Les températures de 45°, 50°, 55° déterminent une surexcitation exagérée du cœur et amènent la mort en très peu de temps.

Dans une deuxième série d'expériences, j'ai placé *T. decussata* intact dans l'étuve à température constante dans les conditions suivantes :

à 25° pendant	2	heures
30°	2	»
35°	1	»
40°	20	minutes
45°	20	»
50°	5	»
55°	5	»

Après l'ouverture et la mise à nu du cœur, j'ai observé la marche des pulsations : dans chaque cas, j'ai remarqué des résultats analogues à ceux qui ont été relevés sur l'animal mutilé placé dans les mêmes conditions de température, sauf pour la température de 25° qui est très bien supportée et qui n'altère pas le jeu des pulsations cardiaques. Ces expériences se contrôlent ainsi réciproquement ; elles nous montrent en même temps que celles qui sont faites sur des animaux mutilés sont dans de bonnes conditions d'observation.

Tableau récapitulatif donnant le nombre des pulsations à la minute correspondant aux différentes températures de l'étuve et à des intervalles de temps différents.

Temps	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
après 2 minutes			*a* *b*				38
5	14	15	20–22	26	24	38	36
10			20–23				0
15	14	18		20	26		
30	12	20	26—28	16	25		
45					2	0	
1 heure	12	15	28–30	8	0		
2	10	12	26—30	3			
3	»	12	20—24	2			
4	»	10	20—24	»			
5	»	8	»	»			
6	»	»	14—16	»			
7	»	»	8—9	1			
8	»	»	6—6	0			
9	»	»	4	0			
10	»	7	2				
11	»	»	1				
12	»	»	0				
14	»	»					
15	»	6-5					
16	9	»					
18	9	»					
20	6	5-3					
25	4						
28	3						
30	1						
32	0						

2° *T. decussata* placé dans l'eau de mer à température constante.

Expériences. — L'animal est ouvert et le cœur est mis à nu. Il est placé dans l'eau de mer dont on élève la température au moyen de l'eau de mer bouillante. On maintient cette température constante en plaçant le vase dans l'étuve.

Dans ces conditions j'ai observé successivement quatre

échantillons 5/4 aux températures suivantes : 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55°.

Voici les résultats :

T = 25°

Pulsations normales, 12 à la minute.

5 minutes après	14 pulsations à la minute
15	15
30	12 Pulsations fortes
1 h.	10
2	10
3	10
4-8	10
4-11	9
12-15	8
16-20	7
20-25	5-4
30	0 Systole

La mort survient donc plus vite qu'à la température ordinaire.

Nota. — Placé intact dans l'eau de mer à 25° il vit très-bien.

L'observation a été faite pendant dix jours.

T = 30°.

6 minutes après	18 pulsations à la minute
15	20
30	20-18

1 h.	19-18
2	17-16
3	15-15
4	14
5	12
6	10
7-8	8
10-12	5
16	0 Systole
24	0

Nota. — 10 heures après, le ventricule se repose pendant une ou deux minutes ; alors les pulsations tombent à 4 ou 5 par minute. Dans certains cas, elles reprennent à 8 ou 10 par minute pour retomber bientôt à 4 ou 5 et disparaître à la fin.

T = 35°.

5 minutes après	30 pulsations à la minute
15	30
30	17
45	12
1 h.	10
2	10
2 h. 1/2	9
3	7
4	4-2
5	0 Systole
6	0

A certains moments, le cœur se repose comme précédemment pendant une minute ou deux.

T = 40°.

Le cœur se contracte immédiatement et se met en systole. Il subit ensuite des contractions longitudinales qui déterminent son raccourcissement.

Il s'arrête en 25 ou 30 minutes et il est alors fusiforme et allongé. Voici la marche des pulsations :

5 minutes après	18-22
15	14
30	0 Systole.

Nota. — Si on sort *Tapes* de l'eau, lorsque le cœur est arrêté, les pulsations reprennent pendant une demi-heure (deux ou trois à la minute).

Mêmes expériences et mêmes résultats avec *T. pullastra.*

T = 45°.

Dès l'immersion, les pulsations deviennent très nombreuses, j'en ai compté jusqu'à 40 à la minute.

Le cœur s'arrête en systole en 5 minutes.

T = 50°.

L'arrêt du cœur se produit immédiatement à cause de la coagulation des muscles.

Tableau récapitulatif donnant le nombre des pulsations à la minute correspondant aux différentes températures de l'eau de mer et à des intervalles de temps différents.

Temps	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
après 1 min.					40	0	0
5	14	18	30	18—22	0		
10							
15	15	20	30	14			
30	12	20—18	17	0			
45			12				
1	10	19—18	10	Chute rapide			
1 1/2				des pulsations			
2	10	17—16	10				
3	»	15	7				
4	»	14	4-2				
5	»	12	0				
6	»	10	0				
7	»	8					
8	»	»	Accélération				
9	9	»	des pulsations				
10	»	5					
11	»	»					
12	8	»					
13	»	»					
14	»						
15	»	2					
16	7	0					
17	»						
18	»						
19	»						
20	»						
21	5						
22	5						
23	5-4						
24	5-4	0					
25	4						
26	»	Accélération					
29	3-2	des pulsations					
30	0						
31	0						

3° Action d'une température progressivement élevée.

Expériences. — *T. decussata* qui est ouvert et dont le cœur est mis à nu est placé dans l'étuve dont on élève la température.

Dans un premier cas, l'élévation de température a été lente ; dans un deuxième cas, elle a été rapide. Toujours, il y a eu exaltation des mouvements cardiaques, mais la mort a été plus lente dans le premier cas.

Voici les résultats :

1° Élévation de température de 20° à 50° pendant 3/4 d'heure T. *d.* $\frac{4.1}{3.5}$.

Température	Nombre de pulsations à la minute	
—	—	
20°	10	
25°	12	
30°	14	
33°	16	
35°	20	
40°	24	Le cœur se roule.
47°	30	Le cœur se roule.
50°	0	Systole.

En excitant le cœur avec une aiguille, on observe quelques petites pulsations (3 ou 4) ; mais elles cessent aussitôt.

2° Élévation de température de 20° à 55° pendant 1 h. 1/2.

T. *d.* $\frac{4}{3.5}$

Température	Nombre de pulsations à la minute
—	—
20°	12
25°	14
30°	16
35°	19
40°	27
42°	35
45°	36
48°	19
50°	12
55°	0 Systole.

3° Élévation de de température de 20° à 40° pendant 40 minutes. T. *d.* $\frac{4}{3.5}$.

Température	Nombre de pulsations à la minute
—	—
20°	12
25°	15
28°	16
30°	19
35°	20
40°	35
42°	20
45°	0 Systole.

Une élévation progressive de la température détermine donc une surexcitation des mouvements cardiaques jusqu'à 40° ou 45°.

4° Temps pendant lequel *T. decussata* supporte une

température déterminée et constante : 1° à l'air ; 2° dans l'eau de mer.

Les expériences précédentes nous donnent le tableau suivant :

Températures	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°
Air chaud.........	10min.	25m.	30m.	8h.	12h.	28h.	32h.
Eau de mer.......	1min.	1m.	5m.	30m.	6h.	16—20	30

D'après ce tableau, nous voyons que *Tapes* supporte plus longtemps les hautes températures dans l'air humide que dans l'eau.

5° Température immédiatement mortelle.

Les mêmes expériences précédentes nous donnent la température maximum immédiatement mortelle.

L'animal ouvert meurt au bout d'un quart d'heure à une demi-heure dans l'étuve a 45° et au bout de cinq minutes dans l'eau de mer à 45°. Il meurt immédiatement à 55° dans l'étuve et à 50° dans l'eau de mer.

50° dans l'eau et 55° à l'air sont donc les températures immédiatement mortelles.

Dans toutes ces expériences, nous voyons, qu'à température égale, l'animal supporte mieux la chaleur à l'air libre que la chaleur dans l'eau.

6° Action d'une température relativement élevée pendant une heure sur *Tapes* intact

Tapes decussata *intact peut supporter pendant une heure une température de* 35° *à* 40° *dans l'étuve.*

Expériences. — *T. decussata* intact 5/4 a été exposé

pendant une heure à une température constante de 45°, ou de 40°, ou de 35° ; après cet intervalle de temps il a été placé dans l'eau de mer à la température ordinaire, c'est-à-dire à 18°.

A 45°, il s'est ouvert dans l'étuve au bout de 40 minutes ; les siphons se sont allongés et après une heure d'exposition, l'animal ne pouvait plus se refermer de lui-même, le manteau et les siphons donnaient des mouvements très-lents si on les excitait. Placé dans l'eau de mer, il s'est refermé au bout de 1/2 heure et a vécu pendant cinq jours. De nombreux débris cellulaires dans l'eau ont montré que les tissus superficiels étaient altérés au point que l'animal n'a pas pu se rétablir. Les branchies étaient intactes, mais le pied, le foie et les glandes génitales étaient profondément tuméfiées ; ces tissus sont ainsi relativement délicats.

A 40° et à 35° il s'est comporté comme s'il ne souffrait pas, sans doute parce que l'action de la chaleur ne se fait sentir qu'au bout d'un certain temps à cause de la grande chaleur spécifique des tissus et de la mauvaise conductibilité de la coquille. Aussi, après une heure d'étuve, l'animal placé dans l'eau de mer y a vécu normalement.

Quelques débris cellulaires ont montré cependant que les tissus avaient subi une légère altération à 40°, mais ces lésions ont été rapidement réparées, car certains échantillons ouverts et disséqués après 20 jours ne présentaient aucune anomalie.

Nota. — La taille exerce une certaine influence et augmente la résistance de l'animal. Ces expériences répétées,

en effet, sur des *T. decussata* plus petits ou sur *T. pullastra* et *T. aurea* ont toujours montré que la résistance à la chaleur diminue avec la taille.

7° Action d'une chaleur modérée.

Une chaleur modérée donne de l'activité au tissu musculaire et ranime les pulsations affaiblies et ralenties.

Expériences. — *T. decussata* $\frac{4.3}{2.2}$ a été anesthésié par l'éther ; le cœur est arrêté depuis deux heures. Placé pendant un quart d'heure dans l'étuve à 30°, les pulsations reprennent 7 à la minute.

Expériences. — Un individu dont les pulsations sont tombées à 1 par minute, replacé dans l'eau à 30° donne 7 pulsations à la minute.

Un deuxième donnait 10 pulsations à la minute ; dans l'eau à 30° il en donne 15 ;

Un troisième donnait 10 pulsations à la minute ; dans l'eau à 30° il en donne 20 ;

Un quatrième donnait 4 pulsations à la minute ; dans l'eau à 35° il en donne 15 ;

Un cinquième donnait 5 pulsations à la minute ; dans l'eau à 30° il en donne 15.

Historique. — L'influence de la température sur les invertébrés et en particulier sur le cœur a été l'objet de remarquables travaux. F. Plateau (1) a vu le cœur des

1. F. Plateau. *Recherches physiologiques sur le cœur des Crustacés décapodes.* (*Archives de biologie de Van Bambeke et Van Beneden*, vol. I, p. 633, 1880.

crustacés accélérer ses mouvements jusqu'à 46°. D'après Yung (1), il y a accélération des pulsations chez la Mye lorsqu'on élève la température, mais à partir de 40° le nombre des pulsations diminue très rapidement car la chaleur paralyse les muscles ; un cœur d'anomie (2), qui ne bat plus depuis trois heures donne 24 pulsations si on élève la température à 30°. Chez les Lamellibranches (3), les mouvements réflexes sont éteints au-dessus de 40°. Ch. Richet (4) a fait la même observation sur les écrevisses. Dans son beau travail sur l'escargot, Yung (5) a remarqué que l'élévation de la température est accompagnée d'une accélération progressive des pulsations ; en outre, l'escargot ne résiste pas à une température de 52° à 60° pendant 5 minutes.

L'excitation due à la chaleur est connue depuis longtemps ; déjà en 1673 Templer (6) avait remarqué que les pulsations d'un cœur séparé et arrêté reparaissent sous l'influence d'une douce chaleur.

Nos expériences sur *Tapes* nous ont donné des résultats analogues aux précédents, ce qui prouve que la chaleur semble agir sur tous les animaux de la même façon ;

1. Yung. *Loc. cit.*, p. 430. *Archives de zoologie expérimentale.*
2. *Id.* *id.* p. 430.
3. *Id.* *id.* *id.*
4. Ch. Richet. *De l'influence de la chaleur sur les fonctions des centres nerveux de l'écrevisse.* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 mai 1879.
5. Yung. *Loc. cit.*, p. 91 et p. 15.
6. Templer. *Upon the motion of the Hearts of two Urchins after their being cut out.* (*Phil. Trans.*, 1673, t. VIII, p. 6016).

les vertébrés eux-mêmes n'échappent pas à cette loi de l'augmentation des battements du cœur avec la température.

Mais, comment la chaleur agit-elle sur les tissus ? Krukenberg (1) a montré que l'extrait aqueux des muscles de quelques gastéropodes commençait à se coaguler entre 40° et 50° et celui de l'*Hélix pomatia* à 76°.

Chez *Tapes*, nous avons trouvé que la coagulation du même extrait aqueux se faisait vers 50° et 53°. Nous pensons avec Yung (2) que la mort par la chaleur est la conséquence de la coagulation du plasma des cellules musculaires et des éléments nerveux. En effet, les nerfs des individus tués dans l'eau à 50° sont durs et opaques (Voir en outre pour la bibliographie F. Plateau (3), gastéropodes ; Yung, crustacés ; Plateau et Brandt, insectes ; Carus, Newport, Yersin, Dogiel, Graber).

VARIATION DU MILIEU EXTÉRIEUR. — b *milieu* { α. Densité. β. Composition. }

α. Densité. — *Le milieu extérieur agit moins par sa densité que par sa composition.*

1re EXPÉRIENCE. — *T. decussata* ouvert est immergé dans

1. Krukenberg. *Die Gerinnungstemperaturen der Eiweisskörper in den contractilen Geweben der Thiere.* (*Vergleichend-Physiol. Studien an den Küsten der Adria II Abtheil*, 1880, p. 2.

Krukenberg. *Zur vergleichenden Physiologie der Lymphe, der Hydro-und Homolymphe.* (*V. Physiol. Studien II. Reihe 1. Abth.* 1882, p. 87.

2. Yung. *Loc. cit.*, p. 18.

3. F. Plateau. *Loc. cit.*, 1880.

différents liquides de même densité que l'eau de mer, ce que l'on reconnaît au moyen d'un aréomètre Baumé. La mort de l'animal survient à des intervalles de temps différents. La mort est constatée par l'arrêt du cœur et la disparition de la contractilité musculaire.

Voici les résultats :

$t = 18°$.

	Eau de mer	Chlorure de sodium	Sulfate de magnésium	Chlorure de potassium	Iodure de potassium	Sucre
Cœur arrêté en	45 h.	2 h.	10 m.	quelques minutes	quelques minutes	1/2 h.
Muscles	3 j. 1/2	2 j. 1/4	1 h. 1/2-2 h.		1 h. 1/2	1 h. 1/2

2e EXPÉRIENCE. — Immersion de *T. decussata* intact dans les mêmes liquides. La mort de l'animal est constatée par l'ouverture de la coquille.

Résultats :

$t = 8°$.

	Eau de mer	Chlorure de sodium	Sulfate de magnésium	Chlorure de sodium	Iodure de potassium	Sucre
Ouverture des deux valves.	»	6-7 jours	4-5 jours	2 j.	1 j.	3 j.

NOTA. — Dans le deuxième cas, on brise légèrement la coquille sur le bord pour permettre à la dissolution de pénétrer à l'intérieur.

Ces expériences nous montrent que des milieux de

même densité mais de composition différente exercent une action variée sur *Tapes* ouvert ou intact, mais parallèle dans les deux cas. La densité est donc un facteur secondaire et le milieu extérieur doit être surtout considéré au point de vue de sa composition ; chacune de ses substances constitutives agit différemment et pour son propre compte.

β. — COMPOSITION DU MILIEU.

« Toutes les expériences sur les poisons musculaires ont besoin d'être revues et analysées de plus près. » (Cl. Bernard), *Rapport sur les Progrès de la Physiologie expérimentale*, p. 162, *in Comptes-rendus des séances et Mémoires de la Société de Biologie*, 1879, t. I, p. 108).

Le milieu extérieur agit surtout par sa composition.

Quelle est l'influence du milieu extérieur sur un animal ? Peut-on modifier impunément ce milieu ? Quel en est le facteur le plus important ? Quel est le rôle des différentes substances dissoutes dans l'eau de mer sur les êtres marins ? voilà autant de questions intéressantes dont la solution a attiré mon attention.

La densité du milieu extérieur jouant un rôle secondaire comme je l'ai établi plus haut, c'est surtout la composition qui agit sur l'organisme.

La composition moyenne de l'eau de mer est la suivante d'après Troost (1).

1. Troost. *Traité élémentaire de chimie*, 9e éd., 1887, p. 496.

Eau de la Méditerranée.

Chlorure de sodium	2,72
— de potassium	0,01
— de magnésium	0,61
Sulfate de magnésium	0,76
— de calcium	0,02
Carbonate de calcium et carbonate de magnésium	0,02
Carbonate de potassium	0,02
Iodures, bromures et sels ammoniacaux	Traces
Eau	95,84
Total	100,00

En faisant varier les proportions des substances normalement dissoutes dans l'eau de mer, on peut voir leur action sur l'organisme. Ces variations de milieu produisent sur *Tapes* des troubles organiques qui ont un certain retentissement sur l'appareil circulatoire. La marche des pulsations cardiaques permet donc d'étudier l'action des agents physiques et chimiques sur l'organisme.

L'action des agents physiques, la chaleur et l'électricité, a été étudiée, p. 50-57. Examinons celle des agents ou plutôt des substances chimiques.

Expériences. — L'animal a été examiné sous deux états : 1° ouvert ; 2° intact. — $t. = 17°$.

Animal ouvert. — Le ligament et les muscles étant coupés, on écarte les valves et on examine le cœur mis à

découvert comme je l'ai indiqué p. 5 et 6 : 1° à l'air; 2° dans l'eau de mer; 3° dans des conditions déterminées de milieu, en faisant varier la proportion de chlorure de sodium, de sulfate de magnésium, de chlorure de magnésium, de chlorure de potassium, de bromure et d'iodure de potassium. Dans ces conditions on obtient :

1° Marche des pulsations cardiaques à l'air. V. p. 46.

2° Marche des pulsations cardiaques dans l'eau de mer. Voir p. 46.

3° Action des corps neutres et sels dissous dans l'eau de mer.

1° *Les différentes substances dissoutes normalement dans l'eau de mer sont plus ou moins toxiques lorsqu'elles agissent isolément.*

2° *Si on fait varier, dans l'eau de mer même, la proportion relative de ses différents sels, ils deviennent toxiques à une dose variable d'une substance à une autre ; les sels de sodium et de magnésium le sont moins que les sels de potassium.*

3° *Leur degré de toxicité est en raison inverse de leur proportion relative dans l'eau de mer.*

La 1re proposition sera démontrée plus loin, § XI, p. 100.

La 2e et la 3e propositions sont démontrées par les expériences suivantes: (Les observations faites plus haut p. 46, servent de termes de comparaison).

a. — Action du chlorure de sodium.

Le chlorure de sodium dissous dans l'eau de mer dans la proportion de 8 à 0,5 0/0 ralentit les pulsations cardiaques d'autant plus que la proportion de sel est plus forte.

La proportion de chlorure de sodium dans l'eau de

mer est 2,72 0/0; cette proportion est très élevée et *à priori* on pourrait considérer ce sel comme l'élément essentiel ou tout au moins comme un élément inoffensif. Il n'en est rien, et si on augmente la dose de ce sel dans l'eau de mer, l'animal s'en ressent avec une sensibilité très-prononcée. Si on admet, comme nous l'avons déjà établi p. 74, que le changement de densité de l'eau exerce une faible influence sur l'organisme, nous sommes forcés de reconnaître que le sel marin agit comme un toxique dès que sa proportion augmente. Ou bien, sommes-nous en présence de cette loi physiologique de l'adaptation de l'organisme au milieu avec apparition de troubles dès que le milieu varie? Les expériences suivantes, faites avec des *Tapes* ouverts et avec des *Tapes* intacts, nous portent à croire, que le chlorure de sodium, à haute dose, exerce une action nocive directe; en effet, les troubles organiques sont d'autant plus prononcés que la proportion de sel augmente pendant que le milieu reste sensiblement le même dans sa composition.

Nota. — Dans toutes ces expériences par immersion, le liquide était changé deux fois par jour.

1re Expérience. — 1° Immersion de *T. decussata* 5/4 dans l'eau de mer à la température de 18° et tenant en dissolution 10 0/0 de sel marin, en plus de sa proportion ordinaire; *Tapes* ouvert et cœur à découvert.

Observations. — Le cœur blanchit, donne quelques pulsations fortes, puis il se contracte peu à peu et les pulsations deviennent très petites. Au bout d'un quart d'heure, il est arrêté en systole.

2e EXPÉRIENCE. — Même expérience avec 8 0/0 de sel marin.

Observations. — Dès l'immersion le cœur se roule ; la régularité des pulsations s'établit en quelques minutes et en comptant le nombre des pulsations, on a les résultats suivants :

5 minutes après	12	pulsations à la minute, fortes et arrêt du cœur après la systole.
15	10	très petites.
30	7	id.
45	2	
1 h.	1	
1 h. 1/4	0	systole.

NOTA. — Le cœur est arrêté en systole et il a un aspect brunâtre.

Les mouvements cardiaques disparaissent en dernier lieu dans la région auriculo-ventriculaire (Voir p. 60).

3e EXPÉRIENCE. — 4 0/0 de sel marin dans l'eau de mer.

Observations. — Dès l'immersion, il se produit une légère excitation du cœur qui donne de petites pulsations.

Les pulsations, qui étaient de 12 à la minute avant l'immersion, montent à 14.

5 minutes après	14-15	pulsations à la minute.
15	12	
30	10	
45	6	

1 h.	6
2 h.	3
2 h. 1/2	0, systole.

4° Expérience. — 2 0/0 de sel marin dans l'eau de mer.

Observations :

5 minutes après	12 pulsations à la minute.
15	8
30	7
45	7
1 h.	4
2	3
3	2
4	1
5	1
6-19	1
20-22	0 systole.

5° Expérience. — 1 0/0 de sel dans l'eau de mer.

Observations :

5 minutes après	15 pulsations à la minute.	
15	10-12	Léger balancement du cœur, mais pulsations fortes.
30	8-9	
1 h.	8-9	
2	8	
3	5	
4	5	
5	5	
6	4	
7-16	3	

17-18	2	
20-22	1	
28-29	0	systole.

6e Expérience. — 1/2 0/0 de sel dans l'eau de mer.

Observations :

5 minutes après	12	pulsations à la minute.
15	10	
1 h.	8-9	
3-4	8	

Les pulsations se font régulièrement et sans trouble apparent ; il y a cependant un léger ralentissement et la mort survient au bout de 34 à 36 heures.

Nota. — Chaque expérience a été faite sur 3 *T. decussata* et sur 3 *T. pullastra*. Les pulsations de *T. pullastra* étaient bien plus petites et leur ralentissement a suivi la même marche que chez *T. decussata* qui a donné les résultats précédents, ce qui justifie notre conclusion.

b. — Action du sulfate de magnésium.

Le sulfate de magnésium dissous dans l'eau de mer dans la proportion de 4 à 0,5 0/0 ralentit les pulsations cardiaques d'autant plus que la proportion de sel est plus forte. La mort survient plus tôt que pour le chlorure de sodium.

La proportion du sulfate de magnésium dans l'eau de mer est de 0,76 0/0. Son action sur *T. decussata* est analogue à celle du chlorure de sodium quoique un peu plus énergique ; elle ralentit les pulsations cardiaques à une faible dose, mais elle est insensible à la dose de 1/8 0/0.

Les expériences qui démontrent cette action ont été faites dans les mêmes conditions que celles du chlorure de sodium sur des animaux ouverts et sur des animaux intacts avec de l'eau de mer tenant en dissolution 4 0/0, 2 0/0, 1 0/0 et 0,5 0/0 de sulfate de magnésium en plus de la proportion normale.

Voici les résultats :

1re Expérience. — 4 0/0. *T. decussata* 5/4 ouvert, cœur à nu.

Observations. — Dès l'immersion, il se produit une courte excitation se traduisant par de fortes pulsations qui sont irrégulières et qui sont suivies par d'autres plus petites. L'irrégularité se continue jusqu'à la fin et, après 2 heures, le cœur est arrêté en systole.

2e Expérience. — *T. decussata* 5/4 ouvert — cœur à nu.

5 minutes après	20	pulsations à la minute.
15	11	pulsations fortes.
30	7	— très fortes.
1 h.	4	id.
2	3	
3	3	
4-9	3	
10-15	2	
16-19	1	
20	0	Systole.

A 2 0 0 il y a donc excitation du cœur, mais pendant

très peu de temps; l'action ralentissante est la plus marquée.

3e Expérience. — 1 0/0 *T. decussata* 5/4, ouvert, cœur à nu.

5 minutes après	16 pulsations à la minute.
15	11
30	8
1 h.	7
2	7
3	5
4	5
5-7	4
8-9-18	3
19-20	2
21-24	1
25	0
27	0 Systole.

4e Expérience. — 1/2 0/0. *T. decussata* 5/4, ouvert, cœur à nu.

5 minutes après	14 pulsations à la minute.
15	10
30	8
1 h.	8
2	6
3-4	5
5-9	4
10-15	3

16-25	2	
26-34	1	
36	0	Systole.

5e Expérience. — 1/8 0/0. *T. decussata*, ouvert, cœur à nu.

La marche des pulsations est normale, ce qui prouve que cette dose est indifférente.

Nota. Mêmes expériences et mêmes résultats avec *Tapes pullastra*.

c. — Action du chlorure de magnésium.

Le chlorure de magnésium dissous dans l'eau de mer possède, à proportions égales, une action ralentissante plus forte que le sulfate de magnésium, sur les pulsations cardiaques ; il détermine aussi plus vite la mort.

La proportion du chlorure de magnésium dans l'eau de mer est de 0,61 0/0.

L'action de ce sel sur *Tapes decussata* a été étudiée parallèlement à celle du sulfate de magnésium et dans les mêmes conditions.

Deux expériences sur 8 échantillons 4/3 et 5/4 m'ont suffi pour établir l'action de ce sel par rapport à celle du sulfate. L'action ralentissante qu'il exerce sur le cœur est légèrement plus forte que pour le sulfate, mais la différence n'est pas exagérée.

Voici les résultats :

1re Expérience. — 2 0/0. *T. decussata* 4/3 et 5/4, ouvert cœur à nu.

5 minutes après	25	pulsations à la minute
15	15	surexcitation
30	11	
1 h.	8	
2	6	
3	5	pulsations petites.
4	5	
5	3	
6-7	2-1	
8	1-0	
9	0	
10	0	Systole.

2ᵉ Expérience. — 1 0/0. *T. decussata* 4/3 et 5/4, ouvert, cœur à nu.

5 minutes après	15	pulsations à la minute
15	10	
30	10	Le cœur paresseux, contracté au début est relâché à la fin; cependant il s'arrête en systole.
45	6	
1 h.	6	
2-3	5	
4-7	4	
8-13	3	
14-16	2	
17-17	1	
20-22	0	Systole.

Cette dernière expérience est analogue à celle du sulfate de magnésium, quant aux résultats.

d. - ACTION DE L'IODURE DE POTASSIUM.

L'iodure de potassium dissous dans l'eau de mer exerce, à faible dose (0,5 0/0), une action ralentissante très prononcée sur le cœur.

L'eau de mer renferme des traces seulement d'iodure de potassium. Aussi l'action de ce corps est plus prononcée que celle des corps précédents ; non seulement il ralentit les mouvements du cœur, mais il amène rapidement la mort de l'animal. Le cœur est d'abord surexcité, puis, il s'affaiblit de plus en plus et il s'arrête en systole ; les muscles eux-mêmes se ressentent de cette action et leur contractilité disparaît en peu de temps. Ainsi donc, ce corps neutre agit à la façon d'un poison sur les tissus qui, sans altération apparente, deviennent inertes comme s'ils avaient été frappés de paralysie. C'est le protoplasma qui est atteint dans ses propriétés vitales et qui ne peut pas résister à l'action délétère de ce sel dont il est difficile de préciser le rôle chimique ; retenons ce fait que son action physiologique est nocive.

EXPÉRIENCES. — Les expériences ont été faites avec *T. decussata* 4/3 ouvert, le cœur à nu et plongé dans l'eau de mer iodurée aux titres suivants : 4 0/0-2 0/0-1 0/0 0,5 0/0 et 0,25 0/0. — Température = 18 :

Voici les résultats :

1re EXPÉRIENCE. - 4 0/0.

Dès l'immersion, le cœur est surexcité et comme essoufflé ; il donne 30 à 35 pulsations à la minute ; il se contracte peu à peu et il s'arrête en systole en quelques minutes (15 à 20).

Le pied et les siphons sont ramassés et perdent leur sensibilité en 45 minutes.

2e Expérience. — 2 0/0.

Le cœur surexcité donne tout de suite 30 pulsations à la minute ; les pulsations sont rapides et petites au début, mais lentes et fortes au bout de 2 minutes. Le cœur s'arrête en systole au bout de 15 à 20 minutes.

Voici quelques nombres :

9 minutes après immersion	30 pulsations à la minute
5	10
15	2-0
20	0 Systole

Remarquons la chute rapide des pulsations.

3e Expérience. — 1 0/0.

5 minutes après	20	pulsations à la minute.
15	6	id. irrégulières et petites.
30	6	
45	0	
1 h.	0	Systole.

4e Expérience. — 1/2 0/0 :

5 minutes après	10	pulsations à la minute
15	10	
30	10	
45	8	
1 h.	8	
2	6	
3	1	
5	0	Systole.

Remarquons ici le faible ralentissement des pulsations au début pendant 1/2 heure, puis leur chute rapide.

Le poison n'agit pas tout de suite parce qu'il est en faible quantité, mais dès qu'il a pénétré le protoplasme son effet se fait sentir rapidement sur le cœur et sur les muscles qui cessent d'être contractiles peu après.

5e Expérience. — 1/4 0/0.

5 minutes après	12	pulsations à la minute
15	18	
30	10	
1 h.	9	
2	8	
3	8	
4	7	long arrêt après la diastole.
5	6	
6	5	
7	5	
8-15	5	mais irrégulières.
16-20	4	
21	3	
23	1	
24	0	Systole. Cœur brunâtre.
25	0	

Les muscles ont perdu leur contractilité au bout de 30 à 35 heures.

6e Expérience. — 1/8 0/0 et 1/16 0/0.

Même à 1/8 0/0 l'iodure produit un léger ralentissement des pulsations cardiaques ; mais à 1/16 0/0 il ne paraît avoir aucune action sur le cœur.

Nota. — Les expériences précédentes ont été répétées avec *T. decussata* ouvert mais à charnière et péricarde intacts ; le résultat final, c'est-à-dire l'arrêt du cœur et la non contractilité musculaire, a été le même dans les différents cas, à quelques minutes près.

e. — ACTION DU BROMURE DE POTASSIUM.

A proportions égales, le bromure de potassium dissous dans l'eau de mer agit de la même manière que l'iodure, mais plus énergiquement.

L'eau de mer renferme seulement des traces de bromure. L'action de ce sel sur *T. decussata* présente une analogie frappante avec celle de l'iodure ; nous ferons donc à son sujet les mêmes observations (Voir p. 87).

EXPÉRIENCES. — Immersion de *T. decussata* dans l'eau de mer additionnée de 4 0/0, 2 0/0, 1 0/0, 1/2 0/0, 1/4 0/0, 1/8 0/0 de bromure. t. = 17°.

1re EXPÉRIENCE. — 4 0/0.

Dès l'immersion, grande surexcitation du cœur qui donne jusqu'à 40 pulsations à la minute. La diminution des pulsations est rapide, brusque même et 5 minutes après, le cœur est arrêté en systole : son aspect est brunâtre.

2e EXPÉRIENCE. 2 0/0.

L'arrêt du cœur a lieu en 8-10 minutes.

3e EXPÉRIENCE. — 1 0/0.

5 minutes après	16-18	pulsations à la minute.
15	8	

30	4	
35	0	
40m	0	Systole.

Il y a donc excitation courte du cœur et chute rapide des pulsations.

4e Expérience. — 1/2 0/0.

5 minutes après	16	pulsations à la minute.
15	12	fortes.
30	10	fortes.
45	8	
1 h.	6	
3	5-3	très-petites
4	0	Systole.

5e Expérience. — 1/4 0/0.

5 minutes après	15	pulsations à la minute.
15	11	
30	11	
1 h.	9	
2	8	
3 h.	7	
4	4	très petites.
5-6	4	très petites.
7	3	
8	2-1	
9	0	Systole.

6e Expérience. — 1/8 0/0.

5 minutes après	14	
15	12	Les pulsations sont régu-

30	8	lières, mais leur nombre est
1 h.	6	moindre que dans l'eau de
2	6	mer seule et surtout, la mort
3	5	survient plus vite.
4-8	5	
10-14	4	
15-20	4-3	
21-25	2	
27	1	
28	0	Systole.

Les résultats précédents comparés entre eux, montrent la nocivité relative des substances dissoutes dans l'eau de mer ; on peut les classer, d'après leur énergie croissante, dans l'ordre suivant : chlorure de sodium, sulfate de magnésium, chlorure de magnésium, iodure de potassium, bromure de potassium. Leur nocivité est donc en raison inverse de leur proportion dans l'eau de mer, où le chlorure de sodium est le plus abondant et le bromure le moins (Voyez p. 77).

Action des sels de la mer sur *Tapes decussata* intact

1° Tapes decussata *supporte, sans inconvénient marqué, les faibles doses (1/4 et même 1/2 0/0) de chlorure de sodium, de sulfate de magnésium et de chlorure de magnésium dissous dans l'eau de mer.*

2° *Le bromure de potassium et l'iodure de potassium sont délétères à la dose de 1/2 0/0.*

3° *Les sels de potassium, de sodium et de magnésium dissous dans l'eau de mer sont délétères à 2 0/0.*

4° *Les sels de sodium et de magnésium le sont moins que ceux de potassium.*

Nous avons établi plus haut l'action ralentissante de

ces sels sur le cœur et même leur toxicité sur les tissus musculaires; mais, nous avons toujours opéré sur des animaux mutilés, c'est-à-dire, dans de médiocres conditions de résistance. Nous avons voulu contrôler ces résultats en opérant sur des animaux intacts placés dans les mêmes conditions de milieu.

Expériences. — Nous avons préparé, à ce sujet, des dissolutions de ces sels dans l'eau de mer aux titres 1/4, 1/2, 1 et 2 0/0 et dans lesquelles nous avons placé *T. decussata* intact. Dans ces conditions, nous n'avons pu observer la marche des pulsations cardiaques; mais nous avons suivi l'affaiblissement de la contractilité musculaire des siphons et nous avons noté le temps mis par le poison pour tuer l'animal. Cette mort est bien due ici à l'action du sel; au moment où elle se produit, la coquille s'ouvre sous l'influence du ligament et ne peut plus se refermer.

Voici les résultats :

a' — NaCl. — 1/4 0/0. — 1re Expérience. — *Chlorure de sodium.*

T. decussata 4/3 a été mis en observation pendant un mois; il ne présente rien d'anormal et semble y vivre très bien. Ouvert après une immersion de 20, 25, 30 jours, le cœur donnait des pulsations régulières.

2e Expérience. — 1/2 0/0. — Chlorure de sodium. — *T. decussata* 4/3.

Après une immersion de quelques heures, *Tapes* étale ses siphons dont les mouvements sont très lents; on

dirait que la contractilité musculaire s'affaiblit. A part cela, l'animal continue à vivre dans cette eau salée et, ouvert à différents intervalles de 20, 25, 30 jours, le cœur pulsait régulièrement, mais avec un léger ralentissement, 10 à 9 pulsations à la minute au lieu de 12.

3e Expérience. — 1 0/0. — NaCl. — *T. dec.* 4/3.

Mouvements très lents des siphons; mort après 6, 8 jours d'immersion; le cœur est arrêté en systole.

4e Expérience. — 2 0/0. — NaCl. — *T. dec.* 4/3.

Mouvements très lents des siphons; mort après 5 jours et 6 jours d'immersion; le cœur est arrêté en systole et les siphons sont durs, resserrés, allongés; les branchies molles; les tissus sont donc directement atteints.

Ces expériences montrent que le chlorure de sodium ajouté à l'eau de mer est indifférent à la dose de 1/4 et même 1/2 0/0 et est délétère à la dose de 2 0/0.

b' — SO^4Mg. — 5e Expérience. — Sulfate de magnésium 1/4 0/0. — *T. dec.* 4/3.

Mêmes observations et mêmes résultats que pour NaCl à 1/4 0/0; en outre, les siphons s'étalent volontiers et les excrétions deviennent plus abondantes, ce qui indique l'action laxative de ce sel.

6e Expérience. — 1/2 0/0 sulfate de magnésium. — *T. dec.* 4/3.

Action précédente plus accentuée, mais ralentissement du cœur qui donne 10-9 pulsations à la minute après une immersion de 25-30 jours.

7e Expérience. — 2 0/0 sulfate de magnésium. — *T. dec.* 4/3.

Mouvements très lents des siphons; la mort survient après 5-6 jours d'immersion. Les excrétions sont abondantes et les siphons sont très réduits; on dirait qu'il y a eu épuisement.

Le sulfate de magnésium, indifférent à la dose de 1/4 0/0, est délétère à la dose de 2 0/0.

c' — MgCl. — 8e Expérience. — 1/2 0/0 chlorure de magnésium. — *T. dec.* 4/3.

Mêmes observations et mêmes résultats que pour le sulfate.

9e Expérience. — 2 0/0 chlorure de magnésium. — *T. dec.* 4/3.

Mêmes résultats que pour le sulfate. mais la mort survient après 4-5 jours d'immersion, c'est-à-dire plus tôt.

d' — KI. — 10e Expérience. — 1/2 0/0 iodure de potassium. — *T. dec.* 4/3.

Baîlle après quelques heures d'immersion ; mort en 2-3 jours ; le cœur est arrêté en systole et le péricarde est gonflé.

e' — KBr. — 11e Expérience. — 1/2 0/0 bromure de potassium. — *T. dec.* 4/3.

Mêmes résultats que pour l'iodure.

L'iodure et le bromure de potassium sont donc délétères à la dose de 1/2 0/0.

Après avoir établi la toxicité des sels de la mer, nous

résumons les résultats dans le tableau comparatif suivant donnant le temps pendant lequel l'animal a résisté dans les différentes solutions :

	Substances dissoutes	4 0/0	2 0/0	1 0/0	1/2 0/0
Animal ouvert	NaCl	2 h. 1/2	20-22 h.	28-29 h.	36 h.
	SO^4Mg	2 h.	20	27	36
	MgCl	2	10	20-22	
	KI	15-20 min.	10 m.	1 h.	5 h.
	KBr	5-10 min.	8-10 m.	40 m.	4 h.
Animal intact	NaCl		5-6 jours	6-8 jours	
	SO^4Mg		5-6 jours		
	MgCl		4-5 jours		
	KI				2-3 jours
	KBr				2-3 jours

d' — Action du sucre dissous dans l'eau de mer.

Le sucre de canne dissous dans l'eau de mer est délétère à la dose de 2 0/0.

Expérience. — *Tapes decussata* intact 4/3 a été immergé dans l'eau de mer additionnée de 2 0/0 de sucre. — *t.* = 18°.

Dès l'immersion, les siphons s'étalent, sont très mobiles et l'animal semble ne pas souffrir ; mais le lendemain on trouve dans le liquide des déchets cellulaires abondants, ce qui indique qu'il se produit des lésions sur les tissus. L'animal meurt au bout de 4 jours 1/2 et le foie est boursouflé.

Je n'ai pas poursuivi plus loin ces expériences que j'ai faites accidentellement ; mais il me semble que cette action du sucre sur l'organisme mérite d'être étudiée plus longuement. Son action paraît être intérieure et extérieure.

Historique. — On lit dans les leçons de chimie de Girardin (1) que le sucre est un agent puissant de conservation ; cependant, d'après Magendie, c'est un aliment peu nourrissant. Des chiens qu'il nourrit avec du sucre devinrent d'une maigreur excessive et moururent d'épuisement, les yeux ulcérés (2).

Pour l'homme, l'excès de sucre est nuisible ; il agace les dents, rend la bouche pâteuse, échauffe, produit des ulcérations et développe le scorbut.

D'après le même auteur, Carminati a expérimenté que plus on descend dans l'échelle des êtres, plus le sucre devient nuisible. Il tue presque instantanément les animaux à sang froid, les lézards, les grenouilles, même appliqué à l'extérieur. Mes observations sur *Tapes*, montrent que les mollusques n'échappent pas à cette action délétère du sucre.

Historique. — L'action des sels de la mer sur l'organisme a été étudiée chez les vertébrés et les invertébrés à différents points de vue.

Lesage (3) a montré que le chlorure de sodium, en injection de 2 centigrammes, engourdissait une grenouille en 8 minutes pendant 10 minutes. Les globules sanguins ne sont pas dissous par le chlorure de sodium, d'après

1-2. Girardin. *Leçons de chimie élémentaire*, 6e éd., 1880, p. 165. T. III

3. Lesage. Note sur quelques expériences relatives à l'étude des effets physiologiques de la soude, de la potasse et de leurs sels (note de Bochefontaine). *Comptes rendus des séances et mémoires de la Société de Biologie*, 1883, p. 80.

Hunefeld (1); mais d'après Kolliker (2) ils sont le siège de phénomènes d'endosmose qui détruisent leur intégrité.

Laffont et Laffargue (3) ont établi que le sulfate de magnésium agit sur le système nerveux des vertébrés (chien, chat, lapin, grenouille) et que les sels de magnésium agissent par le métal; ils abaissent la pression artérielle; les sels de sodium augmentent le nombre des battements du cœur et provoquent une élévation de la pression artérielle. Les recherches de Richet (4) sur les poissons ont montré la grande inocuité des sels de sodium. D'après Laborde (5) le chlorure de magnésium semble exercer sur le chien une influence excitatrice sur la contractilité cardiaque; mais, le sulfate de magnésium a une puissance toxique moindre que celle du chlorure d'après P. Bert (6); le sulfate produit en outre le ralentissement du pouls et la diminution de la tension du cœur.

1. Hunefeld. *Der Chemismus in der thierischen organisation*, p. 43.

2. Kolliker. *Ueber die Einwirkung einer concentrirten Harnstofflösung auf die Blutzellen.* (*Zeitsch, für wissenschaftliche zoologie*, 1855, Bd. XII, p. 183).

3. Laffont et Laffargue. *Action comparée des sels de magnésium et de sodium sur la circulation.* (*Comptes rendus, Société de Biologie*, p. 282-283, t. I, 1879.)

4. Ch. Richet. *Expériences sur la vie des poissons dans divers milieux et sur l'action physiologique des différents sels de soude.* (*Comptes rendus, Société de Biologie*, p. 428-488, 1886.)

5. Laborde. *Action du chlorure de magnésium.* (*C. rendus, Société de Biologie*, 1879, p. 168 et suiv.)

6. P. Bert. *Action du chlorure de magnésium.* (*C. rendus, Société de Biologie*, 1879, p. 175.)

Pendant que le chlorure de sodium en injection paralyse un chien, avec des secousses convulsives, l'iodure de potassium ne donne pas d'effets convulsifs (Lesage) (1).

En 1867, Laborde (2) a montré que le bromure de potassium absorbé, détermine chez l'homme une grande diminution des actions nerveuses réflexes et même leur complète abolition, sans agir sur le cœur ni empêcher la production des mouvements volontaires.

J'ai cité ces recherches sur les vertébrés parce qu'elles donnent des résultats analogues à ceux que nous avons trouvés en étudiant l'action physiologique des sels de mer sur *Tapes decussata*. Ces sels sont donc toxiques à des doses différentes : aussi, comme l'a montré P. Bert, *loc. cit.* l'eau de mer injectée dans les veines produit assez rapidement la mort d'un chien ; on ne saurait donc trop se défier de ces différentes substances dont l'action physique et chimique est encore peu déterminée, mais dont l'action physiologique certaine, sur les vertébrés comme sur les invertébrés, est d'amener la mort plus ou moins rapidement. Leur action délétère sur les invertébrés nous montre qu'ils agissent sans doute sur le protoplasma dont ils empêchent le fonctionnement vital en altérant sa constitution moléculaire par des réactions chimiques qu'il est difficile de mettre en évidence.

Cependant, les animaux et particulièrement les invertébrés, s'habituent au poison de mer ; Beudant, cité par L.

1. Lesage. *Loc. cit.*, p. 86.

2. Laborde. *Sur l'action physiologique du bromure de potassium établie par l'expérimentation sur les animaux.* (*Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, 1867, t. LXV, p. 80.)

Frédéricq (1), a trouvé, en 1816, que plusieurs mollusques d'eau douce (Lymneus, Physa, Planorbis, Ancylus) qui meurent immédiatement quand on les plonge directement dans l'eau salée, peuvent s'habituer peu à peu à vivre dans un milieu liquide contenant 4 0/0 de sel.

D'autres mollusques (Paludine, Bythinia, Neritina), montrèrent une mortalité plus grande dans l'eau salée que l'eau douce.

D'un autre côté, il plaça des animaux marins dans l'eau où la quantité de sels diminue lentement jusqu'à avoir de l'eau douce ; de cette manière, Balanus, Patella, Purpura, Cardium, Ostrea, Mytilus s'habituèrent à l'eau douce ; mais Haliothis, Buccinum, Tellina, Pecten moururent tous avant la fin de l'expérience.

Schmankewitsch (2) a réussi à transformer, au bout de quelques générations, une espèce dans l'autre (*Artemia Salina* vivant dans l'eau salée 4° B., dans *A. Milbausemii* vivant dans l'eau salée 25° B).

En 1887, H. de Varigny (3) a montré également que les animaux marins qui supportent le mieux une diminution de salure sont le crabe, les actinies, etc. Le *cordylophora lacustris* (d'eau salée et d'eau saumâtre) s'est acclimaté dans l'eau douce.

En 1871, les expériences de F. Plateau (4), sur les

1. L. Fredericq. *La Lutte pour l'existence des animaux marins*, Baillière, 1889, p. 26.

2. Schmankewitsch. *Zeitsch. f. Wiss. zool.*, XXII, 1877.

3. H. de Varigny. *Centralbl. f. Physiol.*, 1887. Voir Fredericq. *Loc. cit.*, p. 29.

4. F. Plateau. *Rech. physico-chimiques sur les Articulés aquatiques.* (*Mém. acad. Belg.*, XXXVI, 1871.)

crustacés et les insectes d'eau douce, ont montré que l'action nuisible de l'eau de mer était due à la présence du chlorure de sodium et du chorure de magnésium. Ces sels toxiques sont facilement absorbés à travers la peau mince et surtout à travers les branchies.

L'*asellus aquaticus* s'habitue lentement au poison de mer.

Les recherches de Frédéricq (1) s'accordent avec les faits mis en lumière par Plateau.

Il se dégage de toutes ces expériences deux faits importants :

1° Les sels de mer sont toxiques ;

2° Les êtres vivants peuvent s'habituer au poison de mer.

Dans tous les cas, la composition du milieu joue un très grand rôle et a une grande influence sur l'existence des êtres vivants ; ce n'est pas impunément que l'on peut transporter un animal d'un milieu dans un autre, surtout si la composition chimique de ces deux milieux présente une grande différence. Que les eaux d'un lac salé deviennent brusquement plus concentrées et leurs habitants pourront difficilement continuer à y vivre ; que la concentration se fasse *très lentement* et les phénomènes d'adaptation pourront se produire pour les animaux qui ont une tendance à s'habituer au poison de mer.

Ces phénomènes d'adaptation au milieu sont incontestables pour quelques espèces lorsque la variation du mi-

1. Léon Frederiq. *Livre Jubil. Soc. méd. Gand*, 1879, et *Arch. zoolog. expérim.* et *Lutte pour l'Existence. Loc. cit.*, p. 34.

lieu se produit graduellement ; mais, vu la grande sensibilité des animaux pour les différentes substances de la mer, ils ne doivent guère se produire dans la nature, lorsque, accidentellement, un animal est transporté de l'eau de mer dans l'eau douce et inversement.

XI

ACTION DIRECTE DE CERTAINES SUBSTANCES. — $t. = 17\text{-}18°$

Nous nous proposons, dans ce chapitre, d'étudier l'action directe de différentes substances sur *Tapes decussata* et de déterminer leur degré relatif de toxicité ; cette étude complétera, jusqu'à un certain point, celle du chapitre précédent et nous permettra même de préciser le rôle de quelques poisons. Nous procéderons toujours par immersion avec des *Tapes* préalablement ouverts ou avec des *T.* intacts ; le cœur et la contractilité musculaires nous serviront de réactifs physiologiques.

a. — ACTION DE L'EAU DISTILLÉE.

b. — ACTION DE L'EAU ORDINAIRE.

1° *L'eau distillée est délétère ; elle produit la turgescence des tissus et la diffusion des matières cristalloïdes.*

2° *L'eau ordinaire agit comme l'eau distillée, mais moins énergiquement.*

EXPÉRIENCES. — Dans chaque cas, l'expérience a été faite sur 4 *T. decussata* 4/3 ouverts et le cœur à découvert. $t. = 18°$.

Dans l'eau distillée le cœur s'arrête en systole en 1/2 heure et la contractilité musculaire des siphons disparaît en 1 h.; les muscles sont mous et relâchés.

L'analyse de l'eau distillée, après l'immersion, y révèle la présence de tous les sels contenus dans l'eau de mer et qui existent normalement dans les tissus de *Tapes*. Ces sels ont donc passé par diffusion et le milieu intérieur des tissus ayant complètement changé, cela explique la mort rapide de l'animal qui ne peut pas s'accommoder à ces nouvelles conditions physiologiques d'existence.

Pour montrer la diffusion des sels on commence d'abord par égoutter l'animal ; on le lave ensuite à l'eau distillée, puis enfin on le plonge dans l'eau distillée que l'on soumet ensuite à l'analyse.

Dans l'eau ordinaire, le cœur s'arrête en systole en 35 à 40 minutes ; les siphons deviennent mous et leur contractilité disparaît en 1 h. 1/2 ; comme dans l'eau distillée, ils sont relâchés et gonflés.

Le cœur donne	12	pulsations à la minute.
5 minutes après	11	très petites,
15	10	très petites,
20	6	
25	3	
30	1	
35	0	systole.

Historique. — Des expériences analogues ont été faites par Plateau Léon Frédéricq et Yung. Ces savants physiologistes sont arrivés, sur des animaux différents, à des résultats concordants et analogues aux nôtres.

Les animaux marins que l'on transporte dans l'eau douce cèdent à celle-ci une partie des sels dont ils sont imprégnés ; ils se *dessalent* littéralement comme l'a constaté Plateau (1) par l'analyse chimique de cette eau et comme nous l'avons vérifié nous-même dans nos expériences. D'après L. Frédéricq (2), qui a fait à Roscoff des expériences analogues, c'est à travers les téguments et surtout à travers les branchies que s'établit l'échange des sels entre le sang et l'eau extérieure.

Dans ses recherches sur les Lamellibranches, Yung (3) a montré que le Solen et la Mye meurent en 5-12 heures dans l'eau douce par suite de la résolution musculaire ; la mort surviendrait par asphyxie. Les mouvements réflexes sont éteints. Telle nous paraît être aussi la cause de la mort rapide de *Tapes* dans l'eau douce (4).

c. — ACTION DES ACIDES.

1° *Les acides minéraux sont des poisons musculaires très puissants ; ils déterminent la coagulation des matières albuminoïdes et ils agissent à la dose de 1/10 000 en amenant l'arrêt du cœur en systole et la rigidité des muscles.*

2° *Les acides organiques sont moins énergiques ; leur action est sensible au 1/5000.*

3° *Les vapeurs acides agissent de la même manière, mais plus lentement.*

EXPÉRIENCE. — Cette étude comprend les chapitres suivants :

1. F. Plateau, 1861, *loc. cit.*

2. L. Frederiq, 1879, *loc. cit.* et *Lutte pour l'Existence*, p. 34-35, *loc. cit.*

3. Yung, 1881. *Innervation du cœur des Lamellibranches. Loc. cit.*, p. 431.

4. *Artemis lincta* ouverte, meurt en 2 heures dans l'eau douce.

1° Action directe des acides sur le cœur ;

2° Immersion de *T. d.* dans l'eau de mer acidulée par les acides minéraux (acide sulfurique, acide azotique, acide chlorhydrique) et par les acides organiques (acide formique, acide phénique, acide acétique ;

3° Exposition de *T. d.* à l'action des vapeurs acides.

L'eau de mer a été titrée à différents degrés mais dans la même proportion pour les divers acides ; les animaux ont été employés sous deux états, ouverts et le cœur à nu, ou intacts. La marche des pulsations cardiaques a été observée d'une façon complète pour un acide et d'une manière relative pour les autres.

Les dissolutions acidulées sont fréquemment renouvelées à cause de la neutralisation de l'acide par le calcaire de la coquille.

Toutes ces expériences nous ont montré *Tapes decussata* sensible à l'action des acides à des doses infinitésimales.

Nous pensons que c'est là une propriété générale des animaux qui sont ainsi un réactif, d'une sensibilité très prononcée, pour apprécier la présence des acides, là où l'analyse chimique est impuissante à la révéler. Cette grande sensibilité n'est-elle pas pour nous un enseignement précieux pour nous mettre en défiance contre toute altération acide ou autre du milieu dans lequel nous vivons et des liquides que nous introduisons dans notre organisme ? Nous reviendrons du reste sur ces considérations.

α. — *Action directe de l'acide acide sur le cœur.*

Solution au 1/500 dans l'eau de mer. *T. dec.* ouvert et cœur à nu.

1re Expérience. — On laisse tomber 20 gouttes sur le cœur au moyen d'un compte-gouttes.

Le cœur se contracte immédiatement et il s'arrête en systole ; il est blanchâtre et le contenu cellulaire est coagulé.

2e Au 1/600, 20 gouttes :

Mêmes résultats.

3e Au 1/1000, 20 gouttes.

Arrêt immédiat en systole du cœur ; mais les pulsations reprennent 5 minutes après 6 à la minute.

à l'air	15	8	amples.
	30	5	La chute des pulsations
dans l'eau	45	5	est rapidement très
de mer	1 h	6	sensible.
	2	6	
	3-4	6	
	5-9	5	
	10-12	4	
	13-14	2-1	
	15-16	0	Systole.

4e Au 1/1500, 20 gouttes.

Le cœur s'arrête en systole pendant 1/2 minute, puis les pulsations reprennent 4 à la minute et elles sont irrégulières, grandes et petites.

5 minutes après	10	à la minute, irrégulières,
15	12	grandes et petites.
30	12	

1 h.	10	Action peu marquée et négligeable.
2 h.-4	8	
5 h.-20	6	

La dose immédiatement mortelle, par contact direct est donc approximativement de 1/600.

β. — *Action directe de l'acide sulfurique sur le cœur.*

1° Solution au 1/500 dans l'eau de mer. *T. dec.* ouvert, cœur à nu.

20 gouttes sur le cœur.

Arrêt immédiat du cœur en systole.

2° Au 1/1000, 20 gouttes.

Arrêt immédiat du cœur en systole.

3° Au 1/2000, 20 gouttes.

Arrêt du cœur en 1 minute.

4° Au 1/4000, 20 gouttes.

Arrêt du cœur en 3 minutes.

5° Au 1/5000, 20 gouttes.

Arrêt du cœur en 5 minutes, 10 minutes, suivant la taille de l'individu.

6° Au 1/10000, 20 gouttes.

Pulsations continuent mais sont lentes et peu nombreuses.

15 minutes après	5 à la minute.
1 h.	3

La dose immédiatement mortelle par contact direct, est de 1/4000. L'action de l'acide sulfurique est donc bien plus énergique que celle de l'acide acétique.

Action de l'acide sulfurique par immersion.

Expériences. — 1° Au 1/4000. *T. dec.* ouvert, cœur à nu.

L'arrêt du cœur en systole se fait au bout de 3 minutes.

La contractilité musculaire, constatée par le courant, persiste pendant 20-25 minutes suivant la taille de l'individu.

2° Au 1/5.000.

L'arrêt du cœur en systole a lieu en 3-5 minutes.

La contractilité musculaire persiste pendant 25-30 minutes.

3° Au 1/10.000.

Dès l'immersion le cœur se contracte, les pulsations deviennent petites et lentes.

5 minutes après	8 pulsations à la minute.	
10	12	
15	5	
30	3	
1 h.	3	
2	1	
3	0	Systole.

Les pulsations auriculaires continuent et on peut encore les distinguer 5 h. après.

La contractilité musculaire persiste pendant 10 heures.

4° Au 1/20.000.

Il se produit un grand ralentissement des pulsations cardiaques.

5 minutes après	10 pulsations à la minute.	
15	6	
30	6	
1 h.-7 h.	6	
8	4	
10-15	4	
15-20	3-2	
25	0	Systole.

Mêmes expériences et mêmes résultats avec *T. pullastra*.

Action de l'acide azotique à 36° par immersion.

Expériences. — 1° Au 1/1.000 *T. dec.* ouvert, cœur à nu. Le cœur se met en systole en 2 minutes.

2° Au 1/5.000.

Le cœur s'arrête en systole en 15 minutes,

γ. — *Action de l'acide chlorhydrique par immersion.*

Expériences. — 1° Au 1/1.000. *T. dec.* ouvert, cœur à nu.

Dès l'immersion, le cœur se contracte lentement, il éprouve une espèce de balancement et il s'arrête en systole en 5 minutes.

2° Au 1/5.000.

Les systoles ventriculaires sont d'abord fortes et le cœur se contracte de plus en plus ; il s'arrête en systole en 15 minutes.

L'acide chlorhydrique se comporte donc comme l'acide azotique.

Nota. — Dans les deux derniers cas, je me suis contenté de comparer l'action de ces deux acides à celle de l'acide sulfurique ; nous voyons, d'après les expériences précédentes, faites dans les mêmes conditions de concentration, qu'ils sont moins énergiques.

δ. — *Action de l'acide acétique par immersion.*

T. déc. ouvert, cœur à nu.

1° Au 1/500.

Arrêt immédiat du cœur en systole.

La contractilité musculaire disparaît en 1/2 heure.

2° Au 1/1.000.

Arrêt du cœur en systole en 10 minutes.

La contractilité musculaire disparaît en 3 heures-4 heures.

3° Au 1/2.000.

Arrêt du cœur en systole en 15 minutes ; puis les pulsations reprennent et persistent pendant 2-3 heures.

La contractilité musculaire disparaît en 6 heures.

4° au 1/4.000.

Arrêt du cœur en 3 h. 1/2.

La contractilité musculaire disparaît en 20-30 h.

5° Au 1/5.000.

Arrêt du cœur en 4 heures.

La contractilité musculaire disparaît en 30 h.

6° Au 1/6.000.

Les pulsations sont ralenties, mais l'arrêt du cœur n'a lieu qu'au bout de 30 heures d'immersion.

L'acide acétique paraît donc être deux fois moins énergique que l'acide sulfurique.

δ'. — *Action de l'acide formique et de l'acide phénique par immersion.*

Acide formique : 1° au 1/500. *T. dec.* ouvert, cœur à nu. Le cœur s'arrête immédiatement en systole.

2° Au 1/1.000. — Même résultat.

3° Au 1/5.000. — Le cœur s'arrête en systole en 2 h.-2 h. 1/2.

Acide phénique : 1° Au 1/500. Le cœur s'arrête en systole en 2 minutes.

2° Au 1/1.000. Le cœur s'àrrête en systole en 8 minutes. Les contractions sont d'abord fortes, irrégulières ; il y a un long repos après la diastole et un petit repos après la systole ventriculaire.

3° au 1/5.000. Le cœur s'arrête en systole en 2-3 h. L'acide formique et l'acide phénique sont donc plus puissants que l'acide acétique.

ε. — *Action des vapeurs acides* $t = 17°\text{-}18°$.

Expériences. — *T. decussata* 4/3, ouvert et le cœur à nu, est placé dans un vase où on met un acide volatil ; l'animal repose sur de petits cailloux de silex de manière à ne pas être en contact direct avec l'acide. Le vase est fermé avec un disque de verre et, de l'extérieur, on peut suivre les mouvements du cœur sans déranger l'animal.

1° *Acide chlorhydrique.* — *T. dec.* 5/4 et 4/3.

On observe tout de suite un grand ralentissement des pulsations du cœur.

10 minutes après	8 pulsations à la minute.
1 h.	6
2	4
10	1
15	0
16	0

La contractilité musculaire disparaît en 20 heures.

Dans une deuxième expérience j'ai placé *T. dec.* avec la charnière et le péricarde intacts.

Les deux échantillons observés 2 heures après, ont le cœur fortement contracté et donnent 2-3 pulsations à la minute, le résultat est le même que si le péricarde avait été ouvert.

2° *Acide azotique* à 36°. — *T. dec.* 4/3-5/4.

Le cœur s'arrête en systole en 2-3 heures.

La contractilité musculaire disparaît en 20-25 heures.

Le pied et les siphons sont raides et contractés.

3° *Acide acétique.* — *T. dec.* 4/3.

Le cœur s'arrête en systole en 22 heures.

La contractilité musculaire disparaît en 30-35 heures.

4° *Acide phénique.* — *T. dec.* 4/3.

Le cœur s'arrête en systole en 8 heures.

La contractilité musculaire disparaît en 16 heures.

Les vapeurs d'acide phénique sont donc très-délétères.

c′ — *Immersion de* Tapes *intact dans l'eau acidulée.* $t. = 18°$.

J'ai terminé cette série d'expériences en plaçant *Tapes*

intact dans l'eau acidulée, de manière que toute perturbation organique doive être exclusivement attribuée à l'action de l'acide. Voici les expériences : *t.* = 18°.

1° Immersion de *T. dec.* 5/4 (2 échantillons) dans l'eau de mer acidulée au 1/1000 par l'acide sulfurique.

La coquille s'ouvre légèrement, mais elle se ferme dès qu'elle sent l'action de l'acide.

Quinze heures après elle bâille et ne peut plus se refermer.

Par la dissection on trouve le cœur en systole, les muscles blanchis et contractés.

2° Immersion du *T. dec.* 5/4 (2 échantillons) dans l'eau acidulée par l'acide acétique.

1° Au 1/400.

L'animal s'ouvre en 1/2 heure et ne peut plus se refermer; par la dissection on trouve le cœur en systole.

2° Au 1/500.

La mort survient en 1 heure, cœur en systole.

Nota. — Lorsque l'animal est intact, il se ferme dès qu'il sent l'action de l'acide; dans certains cas, il ne s'ouvre plus que lorsqu'il est mort; autrefois il reste fermé même après la mort, car les muscles sont fortement contractés.

Mode d'action des acides. — Les acides coagulent les matières albuminoïdes, c'est-à-dire le protoplasma des êtres vivants; cette propriété explique leur action rapide sur *Tapes* dont les tissus blanchissent, par suite de cette coagulation. Les éléments cellulaires dissociés examinés

au microscope, présentent un aspect granuleux, opaque; la membrane cellulaire est aussi altérée dans sa constitution et est désorganisée en plusieurs points.

Lésion de la membrane et coagulation du protoplasma, telles seraient les causes de la toxicité des acides. (1)

Historique. — Depuis longtemps on connaît l'action caustique et même délétère des acides.

A propos de l'acide azotique, Girardin (2) dit qu'il est très-corrosif et que c'est un des poisons les plus violents. Tout le monde sait qu'il attaque profondément les tissus, même à la température ordinaire. Le même auteur cite la mort de Stewart, professeur de chimie à l'institution d'Edimbourg, due à l'action des vapeurs de l'acide azotique fumant et survenue dans les circonstances suivantes. Au mois de mars 1863, il laissa tomber par terre un flacon contenant de l'acide fumant. En cherchant à recueillir sur le parquet le plus d'acide possible, lui et son aide furent exposés aux vapeurs délétères qui remplissaient le laboratoire, mais ils n'en éprouvèrent sur le moment, aucun inconvénient sérieux. Au bout de quelques heures, Stewart commença à sentir de la difficulté dans la respiration et 10 heures après il mourait. L'aide mourut le lendemain.

En 1880, Richet (3) a montré l'action délétère des aci-

1. Voyez Ranvier. *Traité technique d'histologie*, p. 722.

2. Girardin. *Leçons de chimie élémentaire*, 6e éd., *loc. cit.*, t. I, p. 257.

3. Ch. Richet. *De l'influence des milieux alcalins ou acides sur la vie des écrevisses. Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. XC, p. 1166, mai 1880.

des sur les écrevisses. Les expériences de Yung (2) sur les Céphalopodes, l'ont amené aux conclusions suivantes: les acides minéraux sont de violents poisons; les acides organiques sont moins actifs. La mort arrive par arrêt des mouvements respiratoires et par l'asphyxie. Le savant professeur de Genève (3) arrive à des conclusions analogues en étudiant l'action des acides sur l'escargot. L'acide sulfurique est un poison musculaire à action locale donnant au pied une consistance analogue à celle de la chaleur et due à la coagulation du protoplasma; la dose toxique pour l'escargot serait de 1 à 0,5 0/00. Nos résultats sur *Tapes* sont conformes aux précédents; la seule différence consiste dans la dose toxique qui est considérablement moindre pour *T. decussata* et *T. pullastra*. Mais c'est là une question de degré qui n'a pas d'importance et qui ne fait que confirmer cette loi générale, que la sensibilité des animaux pour les poisons varie d'un groupe à un autre. Ne sait-on pas que la belladone toxique pour l'homme, l'est peu pour les ruminants et le chien? (Vulpian)(1).

1. Yung. *De l'action des poisons chez les mollusques* (*Extrait des Arch. de Sciences phys. et naturelles*, janvier 1882, 3e période, t. VII, p. 5.

2. Yung. *Physiologie de l'escargot*, *loc. cit.*, p. 102.

3. Vulpian. *Leçons sur l'action physiologique des substances toxiques*, 1891, p. 26.

d. — Action des alcalis.

1° *Les alcalis sont moins énergiques que les acides ; leur action est sensible au 1/5000.*

2° *Le gaz ammoniac est très délétère.*

Les résultats obtenus avec les alcalis (soude et potasse) sont incertains, car les alcalis, en dissolution dans l'eau de mer, précipitent les matières salines en déplaçant les oxydes et en altèrent la constitution. Si on les emploie en dissolution dans l'eau ordinaire, ils agissent de conserve avec l'eau qui, nous l'avons vu, est délétère à un très haut degré.

Nous avons essayé de résoudre la difficulté en comparant leur action à celle des acides lorsqu'ils agissent directement sur le cœur et même en dissolution dans l'eau douce.

Voici quelques observations :

Action directe de la soude sur le cœur.

1° *Soude* au 1/500. *T. dec.* 4/3 ouvert, cœur à nu, 20 gouttes sur le cœur.

Le cœur s'arrête immédiatement en systole.

2° Au 1/1000. 20 gouttes.

Le cœur s'arrête immédiatement en systole, mais les pulsations reprennent un quart d'heure après, 12 à la minute.

1/2	heure après	12	Cœur globuleux.
1	.	8	

2	6
4	0 Systole.

Nous avons vu que dans les mêmes conditions, l'acide sulfurique au 1/1000 arrête le cœur immédiatement.

3° Au 1/1500. 20 gouttes.

Les pulsations continuent petites et assez rapides ; 16 à la minute ; 2 h. après, 8 à la minute, ce qui prouve que l'action de l'alcali ne se fait plus sentir.

L'action de la soude est donc bien moins sensible que celle des acides minéraux.

α — *Action de la soude par immersion.*

La soude est dissoute dans l'eau distillée ; nous avons étudié son action parallèlement à celle de l'acide acétique dissous dans l'eau distillée, dans la même proportion.

Les expériences ont été faites avec des animaux ouverts.

1° Au 1/500.

Soude. — Cœur, arrêt immédiat en systole — Muscles, en 30-40 minutes.

Acide acétique. — Cœur, arrêt immédiat en systole. — Muscles, en 1/4 d'heure.

2° Au 1/1000.

Soude. — Cœur, arrêt immédiat. — Muscles, 1 heure.

Acide acétique. — Cœur, arrêt immédiat. — Muscles, 1/4-1/2 heure.

3° Au 1/2000.

Soude. — Cœur, arrêt en 5 m. — Muscles, 1 h. 1/2.

Acide acétique. — Cœur, arrêt en 2 m. — Muscles, 3/4 d'heure.

D'après ces expériences, l'action de la soude serait aussi énergique que celle de l'acide acétique.

Après leur immersion dans une eau alcaline, les muscles sont mous, flasques, transparents à cause de la dissolution des matières albuminoïdes.

β — *Action du gaz ammoniac.*

Expériences. — *T. decussata* ouvert est placé dans un petit bocal où on verse quelques gouttes d'ammoniaque. On ferme avec un disque en verre et au bout de 5 minutes, le cœur est arrêté en systole.

La contractilité muculaire disparaît en 1/2 heure. Les muscles d'abord raidis, allongés, deviennent mous et sont recouverts de mucosités produites par l'action du gaz sur les tissus qui tombent en déliquescence.

Historique. — Les alcalis agissent sur les tissus en dissolvant les matières albuminoïdes, c'est-à-dire le protoplasma. C'est ainsi que d'après Ranvier (1) ils éclaircissent considérablement les éléments nerveux et finissent par les dissoudre.

« La potasse et la soude, même en dissolution étendue sont des caustiques énergiques ; elles ramollissent la peau et la dissolvent peu à peu ; elles traversent les muqueuses

1. Ranvier. *Traité technique d'histologie*, p. 722.
Id *Leçons sur l'histologie du système nerveux*, p. 265.

et perforent les membranes; ce sont des poisons très énergiques ». (Troost) (1).

En 1883, Bochefontaine (2) a montré que la soude occasionnait des lésions pulmonaires chez le chien.

Les rech rches de Yung (3) sur les Céphalopodes et sur l'escargot ont établi la toxicité des alcalis presque au même degré que celle des acides. De même Richet, v.p.98 en faisant des recherches sur les poissons, a montré que la limite toxique de la soude est à peu près la même que celle des acides. Nos expériences sur *Tapes* ne sont pas assez précises pour nous permettre de formuler nettement notre opinion à ce sujet; il nous semble cependant que les alcalis sont moins toxiques que les acides minéraux.

Quant à l'ammoniaque, son action délétère est nettement établie par nos expériences et celles de Yung (4) sur les Céphalopodes et l'escargot.

D'après Girardin (4), le professeur Percy cite le cas d'un fils de pharmacien qui périt, quoique secouru presque aussitôt, victime de la fracture d'un flacon plein d'une dissolution ammoniacale.

Ces observations diverses chez les invertébrés et chez les vertébrés généralisent l'action caustique et délétère

1. Troost. *Traité élémentaire de chimie*, 9e éd., p. 465.

2. Bochefontaine. *Note sur quelques expériences relatives à l'étude des effets physiologiques de la potasse et de ses sels.* (*Comptes rendus des séances et mémoires de la Société de Biologie*, 1883, p. 80.)

3. Yung. *De l'action des Poisons chez les Mollusques, loc. cit.*, p. 9 et 10.

Yung. *Physiologie de l'escargot, loc. cit.*, p. 104.

4. Girardin. *Leçons de chimie élémentaire*, 6e éd., t. I, p. 282.

des alcalis comme elles avaient généralisé celle des acides ; elles nous montrent qu'il faut les manier avec précaution et qu'on ne saurait trop se défier des vapeurs de toutes sortes qui existent dans nos laboratoires de chimie et qui, peu à peu, pénètrant dans notre organisme, y exercent une action plus ou moins délétère.

Action directe des corps neutres

e. — *Action des corps neutres. t.* = 17°.

Tapes decussata *ne vit pas dans l'eau douce tenant en dissolution et isolément les différentes substances dissoutes normalement dans l'eau de mer ; ces subtances sont plus ou moins toxiques lorsqu'elles agissent isolément.*

Expériences. — *Tapes* intact ne vit pas dans l'eau douce tenant en dissolution et isolément du chlorure de sodium, du sulfate de magnésium, du chlorure de magnésium, du chlorure de potassium, du bromure de potassium et de l'iodure de potassium. (Voir p. 46-102).

Ces expériences ont été faites avec des dissolutions ayant la même densité que l'eau de mer (Voir p. 74) ou renfermant 2 1/4 0/0 de sel.

Le tableau p. 46 nous donne la marche des pulsations à l'air libre et dans l'eau de mer ; le tableau p. 102-103 nous montre l'action de l'eau distillée et celle de l'eau ordinaire. Les expériences suivantes, comparées à celles-là, permettront de saisir le mode d'action des corps neutres agissant isolément sur les tissus. Plus haut, p.

74, nous avons seulement déterminé le temps pendant lequel *Tapes* peut supporter telle dissolution saline sans examiner les troubles organiques qui ont leur siège dans l'appareil circulatoire. Aussi, ces observations ne nous renseignent guère sur le mode d'action des différents corps dissous normalement dans l'eau de mer ; il est vrai qu'elles ont été faites dans un autre but. Elles peuvent bien nous servir de termes de comparaison et c'est à ce titre seulement, que je les rappelle ici ; mais la plupart des observations ont été faites sur des animaux ouverts de manière à pouvoir suivre la marche des pulsations cardiaques.

a″. — Action du chlorure de sodium.

Le chlorure de sodium étendu (9 à 5 0/0) diminue la toxicité de l'eau douce.

Expériences. — *T. decussata* 4/3, ouvert, a été placé dans des dissolutions de cholure de sodium à 18 0/0, 9 0/0, 4,5 0/0, 2,25 0/0.

Voici les résultats :

1° 18 0/0. Le cœur s'arrête en systole en 5 minutes ; la contractilité musculaire persiste pendant 1 h. 1/4.

2° 9 0/0. Dès l'immersion le cœur se contracte et s'arrête en systole en 5 minutes.

Les pulsations reprennent au bout de 10 minutes, mais le cœur est toujours contracté.

15 minutes après	5	pulsations à la minute.
20	8	Ralentissement notable des pulsations.
30	4	
45	4	
1 h.	4	
2	2	
3	2	
4	0	Systole.

La contractilité musculaire persiste pendant 15-20 heures.

3° 4,5 0/0.

5 minutes après immersion	16	pulsations à la minute. Petit arrêt après la systole, Surexcitation du cœur.
15	16	
30	15	
45	12	
1 h.	12	
2	8	
3	8	
4-5	6	Long arrêt après la systole.
7-9	4	
10	3	
11	2	
12	0	Systole.

La contractilité musculaire persiste 3 jours 1/4.

4° 2,25 0/0.

5 minutes après	10	
15	8	
30	6	
1 h.	4	très petites.
1 h. 1/2	0	

La contractilité musculaire persiste pendant 8-10 heures.

b''.— Action du sulfate de magnésium.

Le sulfate de magnésium à petites doses (1 à 8 0/0) diminue la toxicité de l'eau douce.

Expériences.—*T. decussata* 4/3, ouvert et le cœur à nu.

1° Dissolution ayant la même densité que l'eau de la mer, c'est-à-dire :

2,6 0/0, ou environ 4 fois plus que dans l'eau de mer.

Pas de pulsations à proprement parler ; un léger balancement du cœur avec des mouvements irréguliers.

Arrêt en systole en 10 minutes.

La contractilité musculaire persiste pendant 2 heures.

2° 1,3 0/0 ou environ 2 fois plus que dans l'eau de mer.

Dès l'immersion il se produit des contractions fortes, comme des contractions forcées du cœur (8 à 10 à la minute). Au bout de 5 minutes, les pulsations deviennent petites, rapides, suivies d'une forte contraction par intervalles de 1 minute. Si les petites pulsations échappent à l'observation, on dirait 1 seule pulsation à la minute.

15 minutes après 0 Systole.

La contractilité musculaire persiste 2 h. 1/2.

3° 0,65 0/0.

5 minutes après 32 pulsations à la minute (surexcitation).

20-25 0 Systole.

La contratilité musculaire persiste pendant 3 h. 1/4.

4° $\frac{0,65}{2}$ 0/0.

5 minutes après 32 pulsations à la minute, rapides et fortes.
15 Mouvements très petits.
20-25 0 Systole.

La contractilité musculaire persiste pendant 4 h., les muscles sont relâchés, allongés, mous.

5° $\frac{0,65}{4}$ 0/0 ou 0,16 0/0.

5 minutes après 24 pulsations faibles à la minute.
15 12
30 6
45 0 Diastole.

La contractilité musculaire persiste pendant 3 h.; les muscles sont relâchés et allongés.

6° $\frac{0,65}{8}$ 0/0 ou 0,08 0/0.

5 minutes après 24 pulsations à la minute (surexcitation).
15 12 fortes.
30 8 petites.
45 0 Diastole.

La contractilité musculaire persiste pendant 4 h. 1/2.

7° $\frac{0,65}{16}$ ou 0,04 0/0.

Dès l'immersion, 20 pulsations à la minute.
15 minutes après, arrêt en diastole.
La contractilité musculaire persiste pendant 2 h.

8° $\frac{0,56}{32}$ ou 0,02 0/0.

Le cœur s'arrête en diastole en 20 minutes.

La contractilité musculaire persiste pendant 1 h. 1/4.

9° $\frac{0,65}{64}$ ou 0,1 0/0.

Comme dans l'eau ordinaire.

Action du chlorure de magnésium.

Le chlorure de magnésium se comporte de la même façon que le sulfate de magnésium.

c″. — Action du bromure, du chlorure et de l'iodure de potassium.

Le bromure, le chlorure, l'iodure de potassium à faible dose (5 à 1,25 0/0 augmentent plutôt qu'il ne diminuent la toxicité de l'eau douce. Le bromure semble le plus énergique.

Expériences. — Iodure de potassium dissous.

1° 5 0/0.

Le cœur s'arrête en systole en 2 minutes.

La contractilité musculaire disparaît en 45 m.

2° 2 1/2 0/0.

Le cœur s'arrête en systole en 5 m.

La contractilité musculaire disparaît en 1 h. 1/2.

3° 1 1/4 0/0 et 1 0/0.

Mêmes résultats que pour 2 1/2 0/0.

Les muscles ont une apparence ordinaire.

Ces expériences nous montrent, comme celles que nous

avons faites avec les mêmes sels dissous dans l'eau de mer, que les sels de potassium sont plus toxiques que ceux de magnésium et de sodium. Ce résultat n'a rien de surprenant ; mais, d'un autre côté, nous avons vu que les sels de sodium et de magnésium ajoutés à l'eau de mer sont toxiques à la dose de 2 0/0 et que ces mêmes sels, agissant isolément en dissolution dans l'eau douce, diminuent la toxicité de l'eau, ou plutôt, maintiennent la vitalité des tissus. La contradiction n'est qu'apparente. En effet, dans l'eau de mer, le sel agit directement sur l'animal placé dans son milieu normal et les perturbations organiques lui sont imputables en entier; au contraire, dans l'eau douce, son rôle est double ; d'abord il change le milieu où est placé l'animal en l'enrichissant d'un des éléments qui paraissent nécessaires à son existence et par ce fait même il diminue la toxicité de ce liquide; ensuite, il continue à agir comme toxique. Mais, une certaine partie de ce sel est employée dans le premier cas, à un effet utile et cela explique pourquoi, non seulement la dose toxique augmente, mais aussi, pourquoi il semble ne pas être directement toxique.

Si dans l'eau de mer il y a 2,72 0/0 de chlorure de sodium, indépendamment des autres substances, il est évident qu'en ajoutant à l'eau douce 2,72 0/0 de sel marin celui-ci ne pourra produire aucun effet nuisible sur les animaux marins ; au contraire, il contribuera à rendre cette eau supportable et diminuera sa toxicité. Il est également évident que si dans l'eau douce on dissout les différentes substances normalement contenues dans la mer et dans les mêmes proportions, on fera une eau de mer artificielle dans laquelle les animaux marins vivront sans inconvénient.

fgh.— ACTION DE L'ALCOOL, DE L'ÉTHER ET DU CHLOROFORME.

Nous avons examiné : 1° l'action de ces substances en vapeurs ; 2° l'action directe de ces substances sur le cœur et sur les ganglions nerveux ; 3° leur action en injection.

1° ACTION DES VAPEURS D'ALCOOL, D'ÉTHER, DE CHLOROFORME.

t. = 18°.

1° *Les vapeurs d'éther, de chloroforme et d'alcool absolu sont très délétères : le cœur s'arrête en systole en quelques minutes et les muscles se raidissent.*
2° *L'action de l'alcool, plus lente que celle du chloroforme et de l'éther, est permanente et semble musculaire.*
3° *L'action de l'éther et du chloroforme est temporaire et semble nerveuse (anesthésie) ; si elle dure trop longtemps, elle est mortelle.*

EXPÉRIENCES. — *T. decussata* 5/4, ouvert et le cœur à nu, est plongé dans les vapeurs de ces liquides occupant le fond d'un vase en verre, fermé par un disque en verre. Quatre individus ont donné les résultats suivants :

α. *Alcool.* — Dès l'immersion, le cœur est surexcité et donne :

2 minutes après 20 pulsations à la minute dans
10 14 l'alcool.

Le cœur est arrêté en systole en 20 minutes.

La contractilité musculaire disparaît en 1 heure ; de plus, les muscles des siphons, du pied et du manteau sont durs, raidis, allongés.

Les mêmes expériences ont été répétées avec un mélange d'air et de vapeurs d'alcool ;

L'arrêt du cœur en systole s'est fait lentement (3 à 4

heures) et la rigidité musculaire est survenue plus tard (5 à 6 heures) mais avec les mêmes caractères.

β. *Ether.* – Les vapeurs d'éther agissent plus rapidement que celles de l'alcool.

Le cœur s'arrête immédiatement en systole.

La contractilité musculaire disparaît en 10 minutes.

Les muscles sont d'abord mous, relâchés, puis ils se contractent et deviennent durs.

Ces expériences répétées avec un mélange d'air et de vapeurs d'éther ont donné des résultats analogues, mais l'arrêt du cœur en systole s'est fait plus lentement (12 à 15 minutes).

Dans les deux cas, l'animal étant retiré du milieu anesthésiant, après l'arrêt du cœur, les pulsations ont repris 2 heures après, mais elles sont très ralenties (5-6 à la minute) ; elles durent encore de 25 à 26 heures.

Si l'action de l'éther se fait sentir pendant longtemps (1 heure) les pulsations ne reprennent plus.

γ. *Chloroforme.* — Le chloroforme semble agir moins énergiquement que l'éther.

Le cœur s'arrête en systole en 5 minutes.

La contractilité musculaire disparaît en 15-20 minutes.

Les muscles sont raidis, mais ils deviennent mous 1 heure après ; c'est l'inverse de ce qui se passe avec l'éther.

Si l'action du chloroforme dure longtemps (1 h.), les pulsations ne reprennent plus ; si elle dure quelque minutes (10 m.) les pulsations reprennent 1-2 h. après ; elles sont très ralenties :

25 minutes après	6 à la minute.	
2-7 h.	6	
8-15	4	
16-20	2	La diastole est très-lente et l'arrêt se produit après la systole.
21-30	1	
31-35	1	
36	0	

Action directe sur le cœur et sur les ganglions. — $t = 18°$.

1° *L'alcool absolu agissant directement sur le cœur ou sur les ganglions nerveux détermine immédiatement la systole ventriculaire.*

2° *Après une très courte période de surexcitation, l'éther produit une anesthésie temporaire suivie d'un ralentissement des mouvements cardiaques.*

3° *Le chloroforme a une action temporaire ; après une légère surexcitation il produit un ralentissement des pulsations cardiaques qui reprennent régulièrement quelques heures après (2 à 3 h.).*

Le chloroforme est moins énergique que l'éther.

Expériences. — *T. decussata* 4/3, ouvert et cœur à nu ; avec un compte-gouttes, on laisse tomber quelques gouttes (4 ou 5) du liquide sur le cœur ou sur les ganglions.

a'. *Alcool.* — a. *Cœur.*

Le ventricule se met immédiatement en systole ; les oreillettes pulsent encore quelques minutes ; elles s'arrêtent si on laisse tomber directement sur elles quelques

gouttes d'alcool. L'action de l'alcool sur le cœur est donc locale et est due à la coagulation du protoplasma cellulaire.

b. *Ganglions nerveux.*

α. *Quelques gouttes sur les ganglions cérébroïdes et sous-œsophagiens:* le cœur s'arrête immédiatement en systole, le pied n'est plus contractile mais les siphons le sont encore pendant quelques heures.

L'alcool est-il rapidement diffusé dans tous les tissus, ou bien son action délétère sur les ganglions est-elle suffisante pour produire cet effet immédiat? il est difficile de se prononcer malgré la vraisemblance de la première hypothèse qui, à cause de la volatilité de l'alcool, rapprocherait cette action de celle des vapeurs d'alcool.

β. *Quelques gouttes sur les ganglions sous-intestinaux* : le cœur s'arrête immédiatement en systole, le pied et les siphons très contractés perdent leur contractilité en quelques heures (2-3 h.). L'action est analogue à celle qui se produit sur les ganglions sus et sous-œsophagiens.

β'. *Ether.* — a. *Cœur.*

Le ventricule s'arrête immédiatement en systole.

Les pulsations reprennent quelques minutes après (10-15 m.).

1 h. après	6	pulsations à la minute.
2	6	
4	8	
6	10	

b. *Ganglions nerveux.*

α. *Ganglions sus et sous-œsophagiens.* — Le cœur se met en systole.

Le cœur se contracte peu à peu après une surexcitation passagère. Le cœur qui donnait 12 pulsations à la minute avant l'expérience, donne :

15 pulsations	5 minutes après.
10	15
6	30
8	45
6	1 h.
4	2
2	3
1	4
0	5 Systole.

β. *Ganglions sous-intestinaux.*

Mêmes résultats que pour les ganglions sus et sous-œsophagiens.

Après un repos de 2 heures (le cœur étant complètement arrêté depuis 2 heures), les pulsations reprennent si on chauffe l'animal pendant un quart d'heure à 35°.

7 pulsations à la minute.

4 pulsations à la minute 1/4 d'heure après.

A ce moment, si on place l'animal dans l'eau de mer à 30°, les pulsations reprennent 14 à la minute. La chaleur ranime pour ainsi dire le cœur et fait disparaître l'anesthésie ; elle montre en outre que l'action de l'éther est passagère.

γ'. *Chloroforme.* — a. *Cœur.*

Le ventricule s'arrête immédiatement en systole.

Une demi-heure après le cœur est relâché, mais toujours immobile.

1 h. après les pulsations reprennent	10 à la minute.
2-5	10-11
6	12

b. *Ganglions nerveux.*

α. *Ganglions sus et sous-œsophagiens.*

Quelques gouttes sur les ganglions, puis le cœur a été mis à nu. Le cœur d'abord en diastole se contracte peu à peu et donne :

	14 pulsations à la minute.
1/2 h. après	14
1 h.	4
2	3
4	10
5	12

β. *Ganglions sous-intestinaux.*

5 minutes après	15 pulsations à la minute.	
30	14	
1 h.	4	Les siphons sont raidis, allongés, recouverts de mucosités.
4	8	
6	12	Siphons mous et flasques.

L'action du chloroforme sur les ganglions ne détermine pas l'arrêt du cœur en systole ni dans les cas précédents, ni lorsque l'animal est ouvert et le cœur à nu comme dans les expériences avec l'éther. Cette action paraît plus faible que celle de l'éther tout en étant de même nature.

Action de l'alcool, de l'éther et du chloroforme en injection.

1° *L'alcool à 15-30° et l'éther injectés dans le pied (1/2 centimètre cube), déterminent une surexcitation du cœur et provoquent des pulsations nombreuses et énergiques.*
2° *L'alcool à 60° détermine un notable ralentissement des mouvements cardiaques.*
3° *L'alcool absolu et le chloroforme injectés dans le pied (1/2 centimètre cube) déterminent l'arrêt immédiat du cœur en systole et la rigidité musculaire. Le chloroforme est plus énergique que l'alcool.*

Expériences. — L'animal est ouvert et le cœur à nu ; après l'injection, faite avec une seringue Pravaz, on examine les pulsations en dehors de l'eau qui pourrait entraîner le liquide injecté.

α''. Alcool à 30°. T. dec. 5/4. t. = 17°.

Dès l'injection (1/2 cmc.), il se produit une grande agitation du cœur dont il est difficile de compter les pulsations qui sont très-irrégulières. Le cœur est soumis d'ensemble à une espèce de roulement ; mais la région auriculo-ventriculaire est le siège d'une agitation extrême. Lorsque la régularité des pulsations s'établit on observe la marche suivante :

3 minutes après	18 pulsations	à la minute, les systoles sont très-fortes.
15	15	id.
30	14-15	
1 h.	15	Toujours un certain roulis du cœur.
2	14	
3-4	14	

5-8 h.	14	2 pulsations des oreillettes pour 1 du ventricule.
9-10	18	Trouble dans la circulation.
11-13	14	
14-21	12	Repos du cœur après 4 pulsa-
22-27	11	tions du ventricules.
29-33	18	Fortes et régulières.
34-35	15	
36-39	10	
40-44	8	
45-46	4-3	Contractions vives des mus-
47	2-1	cles.
48	0	Diastole.

La contractilité musculaire persiste encore 2 heures, c'est-à-dire en tout 50 heures. Le pied est dur, rigide.

Nota. — De temps en temps il faut verser quelques gouttes d'eau sur l'animal pour conserver toute leur souplesse aux tissus qui finiraient par se ressentir d'une évaporation trop prononcée.

Alcool à 15°. T. dec. 5/4 et 4/3.

Mêmes phénomènes que pour l'alcool à 30°, mais la surexcitation est moins forte.

Voici quelques observations :

Dès l'injection 18 pulsations à la minute.

1 h. après	14	
2	12	
3	9	Repos du cœur après 3 pulsations
15	8	du ventricule.

48	2
50	0 Diastole.

Alcool absolu.

Dès l'injection le cœur se contracte fortement et exécute 20 pulsations très-petites à la minute ; il s'arrête en systole en 2-3 minutes.

Le pied est raidi comme pour le chloroforme, ce qui montre l'action directe de l'alcool par coagulation des matières albuminoïdes. Les siphons et le manteau, non directement atteints, se meuvent encore pendant plusieurs heures (20-25 h.), mais les contractions sont très-faibles.

β''. *Ether. T. dec.* 5/4.

5 minutes après	17	pulsations à la minute.
15	14	Systoles fortes.
30	15	Systoles petites.
1 h.	15	
2	16	Fortes (trouble de la circula-
3	18	tion).
4-5	12	
7	11	Une certaine irrégularité.
9-20	11	
21-36	11-10	
37-40	8-7	
41-48	5-4	
49-50	3	
51-52	1	
53	0	Diastole.

Pour l'éther comme pour l'alcool, les pulsations sont donc irrégulières.

Les muscles ne sont plus contractiles 55 heures après.

γ''. *Chloroforme. T. dec.* 5/4.

Dès l'injection, le cœur s'arrête en diastole. Le pied se contracte immédiatement et devient dur. La sensibilité du siphon et du manteau reparaît deux heures après et persiste pendant quelques heures encore (3-4 h.). Le chloroforme n'altère donc pas sensiblement la constitution du contenu cellulaire et agit surtout comme anesthésique.

Historique. — L'action anesthésique de l'éther a été découverte par Jackson en 1846; celle du chloroforme par Flourens en 1847 (1) ; mais l'action générale de ces corps a surtout été étudiée chez les vertébrés. Voir à ce sujet : Flourens, Lallemand, Perrin et Duroy, Bouchardat et Soudras, Longet, Prout, Vierhordt, Hervier et St-Lager, Horn, Fyfe, Hammond, P. Bert et surtout Cl. Bernard (2) et Vulpian (3).

L'action de ces corps sur les invertébrés a été moins étudiée; mais certains faits la rapprochent de celle qu'ils exercent sur les vertébrés. C'est ainsi que chez les grenouilles, on voit se produire, sous leur action, d'après

1. Voyez Girardin. *Leçons de chimie élémentaire*, 6e éd., t. III, p. 182 et p. 186.

2. Cl. Bernard. *Leçons sur les anesthésiques et l'asphyxie*, 1875.

3. Vulpian. *Leçons sur l'action physiologique des substances toxiques*, 1892. Avant-propos, p. XIII.

Vulpian (1), des troubles intéressants des mouvements du cœur, analogues à ceux que nous avons remarqués chez *T. decussata*. Ces mouvements sont très irréguliers ; en général ils offrent des intermittences rythmées survenant après des séries de deux ou trois révolutions complètes du cœur. Dans certains cas, il y a deux ou trois systoles auriculaires avant qu'il y ait une systole ventriculaire.

Mais, quel est le mode d'action de ces corps sur les tissus? D'après Yung (2), le passage de l'alcool à travers les parois du tube nerveux des Crustacés décapodes en augmente le contenu ; la granulation qui en résulte ressemble davantage à un coagulum ; l'alcool absolu dessèche le tube dont la gaîne prend un aspect frisé. Nous croyons également que l'alcool agit surtout en coagulant le contenu cellulaire, d'autant plus, que telle est son action sur les matières albuminoïdes ; cela expliquerait son action locale et durable par l'altération des tissus.

Les recherches de Yung (3) sur l'escargot lui ont montré que le chloroforme et l'éther doivent être rangés parmi les poisons qui agissent directement sur les muscles ; nous pensons, avec le distingué professeur de Genève, que le chloroforme ne coagule pas complètement le protoplasma des cellules musculaires, mais modifie la structure physique tout en lui laissant la faculté de re-

1. Vulpian. *Loc. cit.*, p. XIII.

2. Yung. *Recherches sur la structure intime et les fonctions du système nerveux central des Crustacés-décapodes* (*Arch. de zoologie expérimentale*, p. 415).

3. Yung. *Phys. de l'escargot*, *loc. cit.*, p. 104 et suiv.

venir à son état primitif, puisque les pulsations reprennent. Krukenberg (1) a essayé de démontrer que l'alcool, le chloroforme et l'éther agissent directement sur les muscles de la sangsue, indépendamment de toute action centrale. Les expériences de Cl. Bernard (2) et de P. Bert (3) sur les végétaux (sensitive, étamines, germination des graines, marguerite, etc.) montrent que l'éther semble détruire tous les mouvements qui s'effectuent en vertu d'une irritabilité quelconque; son action se fait surtout sentir sur le protoplasma qui est la seule substance vivante des végétaux où on ne saurait distinguer un système central. L'éther, agissant comme anesthésique, ne s'adresse donc pas spécialement au système nerveux, son action détermine une semi-coagulation passagère du protoplasma des tissus, comme l'a établi Cl. Bernard (4) pour l'éther et le chloroforme. En résumé, l'alcool provoque une coagulation durable du protoplasma; l'éther et le chloroforme une coagulation passagère. Du reste, en examinant directement les parties injectées au microscope, on reconnaît que celles qui ont été soumises à l'action de l'alcool sont opaques, granu-

1. Krukenberg, *Vergleichend toxicologische Untersuchungen als experimentelle Grundlage für eine Nerven und Muskelphysiologie der Evertebraten. Vergleich. physiol. Studien, I Abth.*, 1880, p. 77.

2. Cl. Bernard. *Leçons sur les effets des substances toxiques*, 1857, p. 413 et suiv.; *Leçons sur les phénomènes de la vie*, 1878, p. 267 et suiv.

3. P. Bert. *C. rendus des séances et mémoires de la Société de Biologie*, 1879, p. 195.

4. Cl. Bernard. *Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie*, 1875, p. 154.

leuses dans leur contenu cellulaire : au contraire, celles qui ont subi l'action de l'éther et du chloroforme présentent ces phénomènes moins marqués, surtout au bout d'un certain temps.

i. — Action des essences. $t. = 16\text{-}17°$.

Les essences proprement dites (carbures d'hydrogène) sont délétères ; elles déterminent un ralentissement rapide des mouvements cardiaques avec arrêt du cœur en systole. Le système musculaire est frappé de rigidité.

Nous avons étudié l'action de l'essence de violettes, de l'essence de bergamote, de l'essence de térébenthine et de l'essence de cèdre.

Expériences. — *T. decussata* 4/3, ouvert et le cœur à nu, est placé dans un vase en verre, fermé par un disque en verre et dont le fond est occupé par l'essence qui se volatilise et le remplit de vapeurs. L'animal ne plonge pas dans le liquide.

1° *Extrait de violettes* :

5 minutes après	12	pulsations à la minute, arrêt
10	8	du cœur après la systole.
15	6	
30	4	
1 h.	2	
2	0	Systole.

La contractilité musculaire disparaît en 4 heures.

Les muscles sont raides, allongés, recouverts de mucosités comme pour le chloroforme ; ils redeviennent mous une heure après.

T. pullastra 3/2,3, placé dans les mêmes conditions, a présenté les mêmes phénomènes, mais plus rapidement. (Cœur, en 1 heure, muscles en 3 heures).

Nota. — Des *Tapes decussata* intacts exposés aux vapeurs de l'essence de violettes ne s'ouvrent pas à cause de la contraction des muscles.

Ouverts : après 15 heures, le cœur donne encore quelques pulsations.

Ouverts : après 20-25 heures, le cœur est arrêté en systole.

Les muscles sont rigides et contractés.

2° *Essence de bergamote.*

5 minutes après	12	pulsations à la minute, fortes.
15	8	
30	6	
1 h.	4	
2-4	1	
5	0	Systole.

La contractilité musculaire disparaît en 7 heures. Les muscles sont raides, allongés et recouverts de mucosités.

3° *Essence de térébenthine.*

Les pulsations diminuent rapidement et le cœur se met en systole en 5 heures.

4° *Essence de cèdre.*

Les pulsations présentent une certaine irrégularité ; elles sont alternativement rapides et lentes ; le cœur s'arrête en systole en 5 heures.

Les muscles perdent leur contractilité presque en même

temps que le cœur; comme plus haut, ils deviennent raides, allongés et sont recouverts de mucosités.

j. — *Action du camphre.*

Le camphre est un carbonyle qui diffère des essences parce qu'il renferme de l'oxygène ($C^{10}H^{16}O$); il s'en rapproche par ses propriétés physiologiques.

T. *decussata* exposé aux vapeurs du camphre se comporte comme avec les essences.

Les pulsations cardiaques diminuent rapidement et le cœur s'arrête en systole en 4 heures.

La contractilité musculaire disparaît plus lentement (10-12 h.); les muscles sont raides et allongés.

Nota. — Si dans toutes ces expériences, on laisse entrer de l'air, de temps en temps, dans le vase, on retarde les phénomènes décrits; mais le mode d'action reste le même.

Historique. — La propriété caustique des huiles essentielles n'a pas échappé à l'observation des anciens qui, depuis Marcus Græcus (VIIIe siècle), les appelaient *eaux ardentes*. D'après Girardin (1), Thénard n'a plus trouvé d'oxygène dans l'air asphyxique d'une cave de droguiste où de l'essence de térébenthine était répandue sur le sol, et, Mialhe et Marchal ont montré que les essences ont une action toxique directe. Le même auteur signale le fait suivant : l'essence d'orange amère développe chez les ouvriers de Marseille, occupés à peler les oranges à

1. Girardin. *Leçons de chimie élém.*, 6e éd., t. III, p. 327-344.

confire qu'on vend sous le nom de Chinois, des accidents nerveux multiples et très-graves, ainsi que des éruptions sur les mains et sur les bras.

Henri de Varigny (1) a montré que les vapeurs de camphre suffisent à ralentir la germination; Réveil (2) a établi qu'il tue les végétaux. D'après les expériences de Pillet (3), sur le lapin, les essences de cannelle, de bergamote, de reine des prés, produisent des phénomènes de deshydratation déterminant des lésions comparables à celles de l'acide sulfurique.

Nos expériences sur T*apes* ne nous ont pas présenté des lésions des tissus; le contenu cellulaire était opaque et granuleux et nous croyons, d'après cela, que les vapeurs essentielles produisent simplement la semi-coagulation du protoplasma; peut-être, l'action directe du liquide, est-elle plus forte et détermine-t-elle des lésions. Nous n'avons pas vérifié ce fait.

Les essences agissent donc : 1° comme asphyxiants par absorption d'oxygène; 2° comme caustiques par deshydratation; 3° comme toxiques par coagulation du protoplasma : c'est ainsi qu'ils amènent la rigidité musculaire. Cette action rapide et permanente des essences sur les tissus nous montre le danger qu'il y a à en abuser et nous

1. Henry de Varigny. *Action du camphre sur la germination*, 1891. (*Comptes rendus des mémoires et séances de Biologie*, 1891, p. 297.)

2. Réveil. *Recherches de physiologie végétale. De l'action des poisons sur les plantes*, 1885.

3. A. H. Pillet. *Action localisée des essences sur la muqueuse gastrique*. (*C. rendus des séances et mémoires de la Société de Biologie*, 1892. p. 895-896.

explique l'état maladif des marchands de fleurs et des parfumeurs qui vivent dans une atmosphère très viciée. Nous signalons le fait, sans insister autrement, car, si l'hygiène condamne ces produits, la mode les protège et nous savons, que, de longtemps encore, ils seront considérés comme inoffensifs.

Nous rappellerons cependant que les essences ont une certaine utilité comme antiseptiques : c'est ainsi que les corps embaumés se conservent très bien.

k. — Action de la caféine $t = 17^o$.

Le caféine en injection dans le pied (1 cm.cube) ralentit considérablement les mouvements cardiaques. La mort survient plus ou moins rapidement.

Expériences. — T. dec. $\frac{4.5}{3}$ ouvert et le cœur à nu. L'injection est faite avec une seringue Pravaz dans la partie antérieure du pied. La caféine est dissoute dans l'eau de mer à 2 0/0. On examine l'animal en dehors de l'eau pour empêcher la diffusion de la caféine.

Dès l'immersion les pulsations se ralentissent et deviennent irrégulières ; il y a alternance du systoles fortes et systoles faibles et le cœur devient fusiforme.

5 minutes après	10 pulsations à la minute.
30	8 repos du cœur après la systole
45	6
1 h.	4
2	3
3-4	2
5-6	1
7	0 diastole

Avec des échantillons plus grands 5/4 on a :

5 minutes après	10 pulsations à la minute.
30	8
1 h.	4
2	3
3-4	3
5-6	2
7-12	1
12-19	1
20	0 diastole

Historique. Les recherches de Parisot, sur la caféine et son action sur les fonctions motrices de l'homme, lui ont montré qu'elle empêche l'accélération des battements du cœur et de la respiration consécutive à l'effort : « elle met un homme non entraîné dans les conditions d'un homme entraîné. » D'après mes observations sur *Tapes*, la caféine produit sur le cœur une action ralentissante analogue à cette qu'elle détermine sur le cœur de l'homme ; celle analogie d'action m'a semblé assez remarquable pour être relevée.

1. — *Action du sulfocyannure de potassium.*

Mes expériences sur *Tapes* m'ont donné des résultats identiques à ceux de Yung (2) sur les Lamellibranches ; je me contente donc d'en donner un résumé rapide :

1. Eug. Parisot. *Étude physiologique de l'action de la caféine sur les fonctions motrices*, 1890. (*C. rendus des séances et mémoires de la Soc. de Biologie*, 1890, p. 253).

2. Yung. *De l'innervation du cœur et de l'action des poisons chez les Lamell., loc. cit.*, p. 442 et suiv.

Une goutte sur le cœur l'arrête immédiatement en systole.

Deux gouttes sur le pied le rendent dur, rigide et le contractent fortement ; le même effet se produit sur le manteau et les branchies. L'action du sulfocyanure est donc directe sur les tissus.

Tapes decussata placé intact, mais les valves écartées, dans l'eau de mer additionnée de 1/50 de sulfocyanure, est frappé de rigidité musculaire en 3 minutes et ne peut plus se refermer.

Ouvert, le cœur, légèrement contracté, donne 20 pulsations à la minute; replacé dans la dissolution, le cœur se met en systole en 5 minutes.

Historique. — Là s'arrêtent nos expériences sur l'action directe de certaines substances sur les *Tapes* ; elles s'ajoutent aux recherches analogues qui ont eu pour but de déterminer l'action des poisons sur les invertébrés et dont nous avons cité, plus haut, les mémoires originaux. Voir en outre pour la bibliographie les travaux de Plateau (1) sur le cœur des Crustacés, Krukenberg (2) sur les Céphalopodes et de Kœhler (3) sur l'action des poisons chez les invertébrés.

1. Félix Plateau. *Loc. cit.*, p. 595.

2. Krukenberg. *Vergleichend-toxicologische, loc. cit.*, p. 77. — *Der Merchanismus des Chromatophorenspieles bei Eledone moschàta*, *Ibid.*, p. 1. — *Das Verhältniss der Toxicologie zu den übrigen biologischen Disciplinen*. *Estratto dal Bolletino della Societa adriatica di Scienze naturali*, t. V, 1879.

3. René Kœhler. *Recherches physiologiques sur l'action des poisons chez les invertébrés.* Paris, J.-B. Baillière et fils, 1883.

Plus d'une fois, ces nombreuses expériences nous ont permis d'établir l'analogie qui existe entre le mode d'action des poisons chez les vertébrés et chez les invertébrés. Ce résultat ne saurait nous surprendre : dans la plupart des cas, le poison agit directement sur le protoplasma et son mode d'action est nécessairement le même chez tous les animaux.

Un enseignement se dégage de tous ces faits : c'est que, la plupart des corps que le chimiste manie à chaque instant sont toxiques à différents degrés ; les acides, les bases, les corps neutres, les alcools, les essences ont une action délétère sur nos tissus. Les corps en apparence les plus inoffensifs, ceux dont l'animal ne pourrait pas se passer, deviennent nuisibles si leur dose dépasse une certaine proportion que nous avons essayé de fixer pour quelques-uns d'entre eux ; rappelons, à ce sujet le chlorure de sodium.

Il serait à souhaiter que l'action de ces différents corps fût connue chez la plupart des animaux ; on pourrait ainsi déduire leur action générale chez tous les êtres vivants et même chez l'homme et cette étude aurait une conséquence pratique dont les médecins et les hygiénistes sauraient profiter pour le plus grand bien de l'humanité. Les propriétés générales d'un médicament ou d'un poison étant connues, on fixerait son mode d'emploi rationnel, pour produire sur les tissus tel résultat prévu d'avance ; il est certain qu'à ce point de vue, l'homme est un mauvais champ d'expérience et, s'il est le but, il est loin d'être le moyen à cause de la complication de son organisme.

Temps pendant lequel Tapes decussata *a vécu dans les expériences précédentes ; ce temps est donné par l'arrêt du cœur.*

Rupture du péricarde. —	Air libre	60-61 h.
	Eau de mer	46 h.
Destruction des ganglions nerveux		40-45 h.
Electricité. — 30 décharges sur les *g*		
	sous-intestinaux	12-15 h.
	cérébroïdes	10 h.
	tous	8 h.
	cœur	15 h.

Température	Étuve	Eau de mer
25°	32 h.	30 h.
30°	28 h.	16-24 h.
35°	12 h.	5-6 h.
40°	8-9 h.	30 m.
45°	30 m.	5 m.
50°	25 m.	1 m.
55°	10 m.	0 m.

Milieu de même densité que l'eau de mer :

Eau de mer	45-46 h.
NaCl	2 h.
$MgSO^4$	10 m.
KCl	quelques minutes
KI	quelques minutes
Sucre	1/2 heure

Immersion dans l'eau de mer additionnée de :

	NaCl	$MgSO^4$	MgCl	KI	KBr
8 0/0	1 h. 1/4				
4 0/0	2 h. 1/2	2 h.		15-20 m.	5 m.
2 0/0	20-22 h	20 h.	9-10 h.	20 m.	8-10 m.
1 0/0	28-20 h	27 h.	20-22 h.	1 h.	40 m.
1/2 0/0		36 h.		5 h.	4 h.
1/4 0/0				24-25 h.	9 h.

Action directe de différentes substances

Eau distillée : 30 minutes.

Eau ordinaire : 35-40 minutes.

Eau de mer acidulée (immersion).

	ACIDES					
	sulfurique,	azotique,	chlorhydrique,	acétique,	formique,	phénique
1/1000		2 m.	5 m.	10 m.		8 m.
1/2000				15 m.		
1/4000	3 m.			3 h. 1/2		
1/5000	5 m.	15 m.	15 m.	4 h.	2-2 1/2	2 h. 3 h

Vapeurs acides :

azotique,	chlorhydrique,	acétique,	phénique
2-3 h.	16-15 h.	22 h.	8 h.

Gaz ammoniac : 5 minutes.

Vapeurs d'alcool,	d'éther,	de chloroforme.
20 m.	0	5 m.

Injections :	alcool,	éther,	chloroforme
	absolu 0 m.	53 h.	0 m.
	30°—48 h.		
	15°—50 h.		

Essences (vapeurs).

violettes,	bergamote,	térébenthine,	cèdre
2 h.	5 h.	5 h.	5 h.

Camphre : 4 h.

Caféine (injection) : 7-20 h.

XII

ÉNERGIE MUSCULAIRE

1° *La force musculaire statique de* Tapes decussata *est supérieure et au moins égale à celle des vertébrés supérieurs*

2° *Cette énergie musculaire par centimètre carré de section est égale à 9-10 kg.*

3° *Elle varie avec la température et possède une température optimum voisine de 20°.*

« Tout muscle possède une force déterminée qui dépend de sa forme et des conditions dans lesquelles s'accomplit sa nutrition. En comparant divers muscles d'un même animal, on acquiert la certitude que cette force est tout à fait indépendante de la longueur des fibres musculaires, mais qu'elle dépend au contraire du nombre de ces fibres, c'est-à-dire de l'épaisseur du muscle; elle s'accroît en proportion directe de la coupe transversale, de sorte qu'un muscle d'épaisseur double possède aussi une force double. On a l'habitude de ramener la force musculaire à l'unité de coupe transversale en divisant, la force ou le poids qui fait exactement équilibre à la contraction de ce muscle, par la surface de la coupe,

on calcule ainsi quelle serait la force d'un muscle dont la surface transversale aurait un centimètre carré. Cette valeur de la force, réduite ainsi à l'unité de surface transversale, a été désignée par Ed. Weber, sous la dénomination de *force absolue* ou *force statique* du muscle. » (Rosenthal) (1).

Tapes est dimyaire et les deux muscles sont inégaux; leur section est ovale et celle du muscle antérieur est à peu près les 3/4 de celle du muscle postérieur. Donc la force du premier sera les 3/4 de celle du second. Sur leur section on distingue une partie translucide, la plus développée, et que l'on croyait constituée de fibres striées et une partie opaque, périphérique, placée en bordure d'un seul côté et que l'on croyait constituée de fibres lisses.

Les observations de Coutance (1) et de R. Blanchard (2) sur l'huître, le pectunculus pilosus, le *Tapes decussata*, le cardium edule, la moule, l'anodonte, la mulette, ont montré que la différence histologique constatée chez le Pecten est un fait isolé et que, chez les autres bivalves, les portions translucides et opaques des muscles adducteurs sont toutes deux constituées par des fibres lisses un peu différentes d'aspect, mais sans trace de striation transversale. Du reste, H.-C. Varigny (3) a établi que la

1. Rosenthal. *Les nerfs et les muscles*, 3e éd., 1883, p. 58.

2. A. Coutance. *De l'énergie et de la structure musculaire chez les mollusques acéphales*. J.-B. Baillière. 1878, 63 pages et 2 pl.

3. R. Blanchard. *Note sur la présence des muscles striés chez les mollusques acéphales monomyaires*. (*Revue internationale des Sciences*, t. V, nº 4, 1880, p. 356.

4. H.-G. de Varigny. *Recherches expérimentales sur la contraction*

physiologie des muscles striés et lisses parait être plus *une* et moins différente qu'on ne l'avait cru jusqu'ici, pour avoir étudié ces deux ordres de muscles chez les animaux supérieurs, où les premiers acquièrent leur développement maximum et où les derniers, au contraire, sont à la phase la plus dégradée ou peu s'en faut, de l'évolution physiologique. Les différences entre les deux muscles s'effacent absolument quand on étend le champ des recherches, au point que non-seulement la comparaison des uns aux autres s'impose, mais dans certains cas, la supériorité de certains muscles lisses devient évidente. Ces différences sont des différences de degré et non de nature. Aussi, nous ne tiendrons pas compte de ces différences et nous généraliserons les résultats pour la masse totale des adducteurs.

La droite qui joint les centres des deux muscles ne passe pas par le centre de l'axe qui joint les centres des deux valves. Les deux muscles étant inégaux leurs forces musculaires sont inégales et la résultante de ces deux forces, égale à leur somme, est appliquée en un point placé sur la droite qui joint les centres des deux muscles et partageant cette droite en segments inversement proportionnels aux intensités de ces forces. Celles-ci étant dans le rapport 3/4, ce point est placé aux 3/4 de la droite, du côté du muscle postérieur.

Cela posé, voici comment nous avons procédé :

Nous avons employé deux méthodes : 1° la méthode

musculaire chez les invertébrés. (*Arch. de zool. expérimentale et générale*, publiées sous la direction de H. de Lacaze-Duthiers. T. III, 1885 (p. 1 à 156), p. 156).

directe ; 2° la méthode indirecte. Dans les deux méthodes, les muscles sont en place et dans leur situation normale, c'est-à-dire en vie ; on mesurera donc leur énergie réelle.

Expériences. — 1° *Méthode directe.*

L'animal est fixé à un étau par la coquille ou valve supérieure ; au besoin on le tient à la main par cette valve. La valve inférieure est sollicitée par des poids que l'on place dans un plateau suspendu par un fil de laiton fixé à cette valve par un trou pratiqué au point qui correspond au point d'application de la résultante des deux forces musculaires. Nous savons que ce point est aux 3/4 de la droite qui joint les centres des sections des deux muscles, à partir du muscle postérieur qui est les 4/3 de l'autre très-approximativement, comme on peut s'en convaincre par des mesures directes.

On ajoute des poids sur le plateau jusqu'à ce que les deux valves s'écartent. Jusqu'à ce moment, les muscles contractés ont résisté à l'action des poids, au poids de la coquille inférieure et à la résistance du ligament. On sait que lorsque les muscles sont coupés, les deux valves s'écartent sous l'action du ligament élastique qui est placé à la charnière.

L'énergie ou la force des deux muscles sera donc égale à la somme : 1° des poids placés sur le plateau ; 2° du poids du plateau ; 3° du poids de la coquille inférieure ; 4° du poids qui fait équilibre à la résistance du ligament.

Nota. — Si le fil de suspension est mal placé on corrige le résultat, en mesurant les deux bras de levier *a'c*

et *ac* correspondant au trou et au point d'application de la résultante des deux muscles par rapport au point fixe (la charnière) et on multiplie les poids P (poids du plateau + poids placés sur plateau) par le rapport de ces deux bras de levier (fig. 3)

On divise le résultat par la surface des deux muscles et on a la force musculaire par centimètre carré.

Il nous reste à indiquer comment nous avons mesuré la section des deux muscles et la résistance du ligament.

Section musculaire. — La surface de chaque section est obtenue d'une manière empirique ; aucune d'elles n'est franchement ovale et l'antérieure surtout est amincie effilée vers le bord cardinal. En traçant sur chacune d'elles une ellipse, on peut mesurer exactement la surface de cette partie elliptique en déterminant ses deux 1/2 axes et en appliquant la formule $\pi a.b$; on ajoute à cette surface, la surface de la section restée en dehors de l'ellipse. Cette somme donne la surface de la section musculaire. Ces mesures sont faites sur les empreintes musculaires des valves.

Les échantillons sur lesquels j'ai opéré m'ont donné comme surface totale des deux sections musculaires les nombres suivants :

0 cmq.	55
0	50
0	56
0	59
0	52
0	5598

Résistance du ligament. — Je mesure la résistance relative du ligament, c'est-à-dire, celle qui est directement opposée à l'action des deux muscles. Deux procédés ont été employés.

1° La coquille est débarrassée rapidement de l'animal intérieur et, ainsi fraîchement préparée, elle est placée sur une table qui permet une adaptation complète ; plus simplement, on la fixe au moyen de la cire à cacheter (fig. 4). Elle repose par le point qui correspond au centre ou point d'application des deux forces musculaires. Une planchette ou un plateau est placé ensuite sur la valve supérieure ; cette planchette repose sur le point de la valve qui correspond encore au point d'application de la résultante des deux forces musculaires. Donc le point fixe de la valve inférieure et le point sur lequel agiront les poids placés sur la planchette sont sur la verticale qui passe par le point d'application de la résultante des actions musculaires. On ajoute des poids sur la planchette jusqu'à ce que la coquille se ferme ; à ce moment, l'action de ces poids (+ le poids de la valve supérieure) fait exactement équilibre à la résistance que le ligament oppose aux muscles ; en effet, les poids agissent en sens inverse des muscles, puisqu'ils sont placés sur la verticale qui passe par le point d'application de la résultante musculaire.

2° La coquille étant fraîchement préparée comme précédemment, on pratique sur chaque valve, au moyen d'un vilebrequin à mèche effilée et bien trempée, un trou qui correspond à la verticale du point d'application de la résultante musculaire. Un fil de laiton passe entre

ces deux trous (fig. 5) ; une de ses extrémités est fixée au trou d'une valve et l'autre soutient un plateau. La valve inférieure étant tenue à la main, on met des poids sur le plateau jusqu'à la fermeture des deux valves. La somme des poids marqués, du poids du plateau, du poids du fil et du poids de la valve supérieure représente alors la résistance que le ligament oppose aux deux muscles.

Dans trois cas différents, ces deux méthodes appliquées en même temps, m'ont donné les mêmes résultats à 10 grammes près. Voici les résultats que j'ai trouvés sur les échantillons, assez petits, qui m'ont fourni toutes les données de mes calculs.

La résistance du ligament était équivalente dans ces différents cas à :

1°	600	grammes
2°	450	—
3°	420	—
4°	400	—
5°	350	—
6°	580	—
7°	500	—

Les beaux échantillons de Roscoff, m'ont donné par le premier procédé :

$\frac{4.5}{3.6}$	résistance musculaire 805 grammes
$\frac{5.2}{4}$	860
$\frac{4.5}{3.4}$	750
$\frac{5.3}{4.1}$	1060
$\frac{5}{3.8}$	950

Résistance absolue du ligament. — La résistance absolue ne présentant aucun intérêt, je ne l'ai pas déterminée ; on aurait pu la trouver au moyen des données précédentes, puis, en faisant des expériences analogues, mais en déplaçant le point d'application des poids qui déterminent la fermeture. On mesure ensuite les bras de levier qui correspondent à ces deux forces qui produisent le même effet dans des conditions différentes et on obtient la force absolue par un calcul bien simple.

Résultats : Voici les résultats complets pour un échantillon :

Poids marqués + poids plateau = 4267 gr.
Poids valve = 6,52
Résistance du ligament = 450
Poids qui détermine l'écartement
des valves = 4723,52

Section musculaire totale = 0cmq.52

Force absolue des muscles par centimètre carré =

$$\frac{4723.52}{0.52} = 9083 \text{ gr.}$$

D'autres échantillons m'ont donné :

8795 gr. — 8916 gr. — 8935 gr. — 9217 gr. — 9325 gr.

ou résultat moyen : 9045 grammes.

2° *Méthode indirecte.*

Dans cette deuxième méthode, on détermine l'écartement des valves sous l'influence d'une pression de mercure que l'on peut évaluer. Voici comment (fig. 6).

Dans une valve on fait un trou circulaire auquel on adapte, au moyen d'un petit tube en caoutchouc, un tube

à entonnoir en verre de 50 centim. de longueur. On verse ensuite du mercure dans le tube jusqu'à ce que les valves s'ouvrent. Cette méthode est très-précise, car au moment de céder, l'animal laisse passer un mince filet de mercure, et alors on mesure exactement la hauteur du liquide dans le tube.

En outre, l'excitation produite par le mercure sur l'animal comprimé n'est pas nuisible à l'expérience, car l'animal résiste encore plus et donne le maximum de son énergie musculaire. Cette expérience, une fois montée, est très-rapide et c'est peut-être pour cela qu'elle donne des résultats plus élevés, c'est-à-dire plus exacts que la méthode précédente où on provoque lentement la fatigue musculaire, en ajoutant successivement des poids sur le plateau suspendu à la valve libre.

Données à déterminer. — 1° On mesure la hauteur verticale du mercure dans le tube à la température de l'expérience. On compte cette hauteur à partir du centre de gravité de la valve supérieure, on la ramène ensuite à 0° d'après la formule $h_0 = \frac{h_t}{1+Kt}$ (h_0 = hauteur à 0° ; h_t = hauteur mesurée à t° ; K = coefficient de dilatation du mercure et t° = température au moment de l'expérience). Au lieu de réduire cette hauteur à 0°, on peut aussi ramener la densité du mercure à t° en divisant la densité du mercure à 0° par le binôme de dilatation $1 + Kt$ du mercure ; c'est du reste ce que j'ai fait pour simplifier les calculs, car cette densité à t° sert dans toute une série d'expériences.

2° On mesure la surface de la projection d'une valve

sur un plan horizontal, c'est-à-dire sur le plan de symétrie. Pour cela, on prend son empreinte exacte sur une feuille de papier ; le bord palléal étant elliptique on construit une ellipse sur ce bord et on en calcule la surface par la formule πab (a et b étant les demi-axes). La surface qui reste entre l'ellipse et le bord cardinal est déterminée empiriquement.

3° On mesure les distances oL et ol du bord cardinal : 1° au centre de poussée du mercure placé sur la verticale qui passe par les centres de gravité $c\ c'$ des deux valves et 2° au point d'application de la résistance musculaire ; on a ainsi le bras de levier de la poussée L et le bras de levier l de l'action musculaire, car ces deux forces, verticales et contraires, agissent comme la puissance et la résistance d'un levier dont le point d'appui est sur la ligne cardinale ou la charnière.

4° On pèse la valve supérieure soulevée et le tube à entonnoir.

5° On évalue la résistance relative R du ligament.

6° On mesure les sections musculaires.

L'animal étant placé sur une table de manière que les deux muscles soient verticaux, on a versé du mercure dans le tube jusqu'à ce que les valves s'ouvrent, comme nous l'avons dit plus haut. Alors, la résistance musculaire M, plus le poids p de la valve et du tube, fait équilibre à la poussée P de bas en haut du mercure, plus la résistance R du ligament.

Donc l'énergie musculaire M + poids p de la valve et tube = poussée P du mercure + la résistance du ligament R ; ou :

$$M + p = P + R$$

d'où $$M = P + R - p.$$

Mais les bras de levier de M et de P étant inégaux, ces deux forces sont en raison inverse de leurs bras de levier et la poussée relative sur la valve supérieure est :

$$P \times \frac{L}{l}.$$

Donc : $$M = P \times \frac{L}{l} + R - p.$$

On sait que la pression exercée par un liquide sur la paroi courbe d'un vase est égale au poids de ce liquide ayant pour base la projection horizontale de la paroi considérée et pour hauteur, la distance verticale comprise entre le centre de gravité de cette paroi et le niveau du liquide dans le vase. Ici, cette pression est égale au poids de la colonne de mercure qui a pour base la projection horizontale (l'empreinte) B de la valve supérieure et pour hauteur la distance comprise entre le centre de gravité de la valve et le niveau du mercure dans le tube. Le centre de gravité de la valve se trouve sensiblement sur la verticale passant par le centre de la valve, posée à plat sur une table et au milieu de la hauteur de la valve ; j'appelle hauteur de la valve la distance comprise entre son point culminant et son plan de base.

Voici les résultats complets pour un échantillon :

Température de l'expérience $T = 15^\circ$

Hauteur du mercure du tube $H = 30$ cm.

Densité du mercure à $T = \frac{13.59}{1+KT} = \frac{13.59}{1+15\ 1/5550} = 13.55$

Surface de projection de la valve $B = \pi ab =$ 6cm q.6337

$$a = \frac{37\text{mm.}}{2} \text{ et } b = \frac{23\text{mm.}}{2}$$

Bras de levier L = 11 mm.

— l = 7 mm.

Poids tube + valve p = 50 gr.

Résistance ligament R = 420 gr.

Surface, sections musculaires s = 0cmq.4989 = 0cmq.50

Poussée du mercure sur la valve supérieure

$$P = B \times H \times 13{,}54$$

Poussée relative du mercure sur la valve supérieure

$$P \times \frac{L}{l} = B \times H \times 13.54 \times \frac{11}{7} =$$

$$= 6{,}6337 \times 30 \times 13.54 \times \frac{11}{7} = 4234 \text{ gr. } 1727 =$$

$$= 4234 \text{ gr. } 1727$$

Energie musculaire totale $M = P \times \frac{L}{l} - p + R =$

$$= 4234.1727 - 50 + 420 = 4604 \text{ gr.} 1727$$

L'énergie musculaire par centimètre carré de section sera donc :

$$\frac{4604{,}1717}{0{,}50} = 9208{,}3454.$$

ou 9 kg. 2083.

D'autres échantillons, toujours à la température de 15°, m'ont donné les résultats suivants :

10 k. 052 — 9 k. 760 — 9 k 846 — 9 k. 712 — 10 k. 101
9 k. 208

Soit, en moyenne : 9 k. 779.

Nota : L'animal ainsi soumis à la pression mercurielle et complètement débarrassé du mercure, continue à vivre et paraît ne pas se ressentir de cette expérience.

Variation de l'énergie musculaire avec la température

Le deuxième procédé est très commode pour étudier les variations de l'énergie musculaire avec la température.

Expériences. — L'animal étant préparé avec son tube, on le place dans l'eau dont on fait varier la température et on note la hauteur du mercure dans le tube à chaque expérience (fig. 6). Avant de verser le mercure, on attend 10 minutes pour que l'animal prenne la température de l'eau, maintenue constante pendant l'expérience en plaçant le vase dans un autre à eau chaude. On fait plusieurs expériences à des températures différentes sur un même animal ; pour un même animal, les pressions du mercure sont proportionnelles aux hauteurs ; la force musculaire étant sensiblement proportionnelle aux pressions mercurielles, on a ainsi des termes de comparaison pour suivre les variations de cette force avec la température. Les hauteurs du mercure nous indiquent donc ces variations.

Dans ces expériences successives sur un même animal, une précaution est nécessaire pour éviter la fatigue musculaire : il faut laisser l'animal se reposer un quart d'heure, après chaque expérience. En outre, pour bien établir l'influence de la température, j'ai fait ces expériences sur différents échantillons, en faisant varier l'ordre des températures : dans un premier cas, j'ai fait ces expériences dans l'ordre suivant :

la 1re à la température ambiante	
la 2e	0°
la 3e	intermédiaire.

Dans un 2e cas :

la 1re	35°
la 2e	20°
la 3e	0°

3e cas :

la 1re	35°
la 2e	20°
la 3e	0°

2e cas :

la 1re	variable
la 2e	0°
la 3e	20°

Dans ces différents cas, quel que fût l'ordre des expériences, la hauteur du mercure était sensiblement la même pour un même animal, à la même température ; donc, après un repos suffisant, l'animal reprend son état primitif et sa force musculaire varie avec la température.

Voici les résultats :

Température extérieure = 20°

Température	Hauteur du mercure des différents individus					
	1	2	3	4	5	6	7
—2°	30	25		26		25	
0°	36	30	28	30	29	27	20
5°	42						
10°	44	34	30	32	30	29	25
15°	47	36	32	35		30	
20°	50	40	34	38	35 1/2	34 1/2	32
25°	45	34	31	33		30	28
30°	35	31	30	32	30	29	27
35°	28 1/2	27	25	27		26	

Au moyen des résultats précédents, on peut construire des courbes de comparaison montrant les variations de la force musculaire avec la température.

On mène deux axes rectangulaires et on porte les températures sur la ligne des abscisses, les hauteurs du mercure dans le tube, sur la ligne des ordonnées. On a ainsi les courbes suivantes, dont le parallélisme indique les variations analogues de l'énergie musculaire pour les mêmes variations de température, sur des animaux différents.

Courbes représentant l'énergie musculaire aux différentes températures : Voir fig. 7, pl. 1.

Les mêmes expériences faites à des températures comprises entre 15° et 25° m'ont toujours montré que l'énergie maximum, pour un animal donné, se manifeste entre 15° et 20° ; la force musculaire varie donc avec la température et elle a une température optimum comprise entre 15° et 20°.

La force musculaire augmente de 0° à 20°, mais au-dessus de cette température, elle diminue sensiblement. Ce fait est bien établi par les observations précédentes pour *Tapes decussata ;* selon toute probabilité il n'est pas particulier aux Lamellibranches et il doit s'étendre à tous les animaux, même les Vertébrés. « Chacun sait, dit M. Milne-Edwards (1), que la chaleur nous affaiblit et dans les contrées tropicales, le travail effectué par l'homme dans l'espace d'une journée est minime compa-

1. H. Milne-Edwards. *Anatomie et physiologie animales*. T. II, p. 124.

rativement au travail fait par un de nos manœuvres ordinaires ».

Historique. — La grande énergie musculaire que nous venons d'établir chez *Tapes* se retrouve à peu près chez tous les Lamellibranches ; mais l'imagination populaire l'a encore exagérée. Darwin (1) dit que l'imprudent qui introduirait la main entre les valves des grands Tridacnes des mers chaudes serait incapable de la retirer tant que vivrait l'animal.

Léon Vaillant (2) rapporte que les matelots prétendent que *Tridacna gigas* est capable de couper les câbles d'une ancre. F. Plateau (3) a remarqué chez *Mya arenaria* que si l'on casse à l'aide d'un couteau ou d'une pince, une région peu étendue de la coquille dans le voisinage de la charnière, un craquement se fait entendre et l'on voit les valves s'effondrer, se brisant en grands éclats, sous l'influence de la traction des muscles adducteurs. Nous avons fait la même observation sur la Mye et même sur *Tapes* où cependant la résistance de la coquille est considérable ; cela se produit surtout lorsque l'on ouvre lentement la coquille, c'est-à-dire, lorsqu'on excite l'animal, qui donne alors son maximum d'énergie musculaire.

1. Darwin. *Journal of Researches into the Natural History and Geology of the Countries visited during the voyage of H. M. S. Beagle round the world*, 2e éd., 1845, p. 460.

2. Léon Vaillant. *Recherches sur la famille des Tridacnidés* (*Annales des Sc. naturelles zool.*, 5e série, t. IV, 1865).

3. Félix Plateau. *Recherches sur la force absolue des Invertébrés.* (*Arch. de zool. expérimentale*, 2e série, t. II, 1884, p. 147.)

T. pullastra et *T. aurea* se prêtent également à cette expérience.

Trois observations de Darwin montrent que les Lamellibranches utilisent cette énergie musculaire comme moyen de dispersion. 1° Un *Unio complanatus* fut trouvé suspendu par ses valves serrées à la patte d'un canard, 2° Une *cyclas cornea* s'était fixée de la même façon à l'une des pattes médianes d'une femelle de *Dytiscus marginalis*. 3° Des cyclas s'étaient attachées aux pieds des Tritons jusqu'à ce que l'organe comprimé par les bords des valves se fût détaché par une véritable amputation.

Henri de Parville (1) rapporte que, dernièrement, un matelot anglais trouva au bord de la mer, dans le bois de Chesapeake, un canard mort dont le bec était pronfondément enfoncé dans une coquille d'huître dont les deux valves s'étaient solidement refermées sur lui. Cette lutte entre les lamellibranches et les canards est un fait commun en Virginie, où dans certaines localités on a renoncé à élever ces palmipèdes ; la région est, en effet, très riches en anodontes. Quand un canard vient à plonger dans la rivière il est saisi par les pattes et le plus souvent par le bec. Les valves se resserrent énergiquement et ne s'ouvrent que l'orsque loiseau est asphyxié.

Ces observations sont très-curieuses, mais ne donnent aucune idée, sur la valeur absolue de la force musculaire

1. Darwin. *On the dispersal of freshwater bivalves* (*Nature anglaise*, vol. XXV, 1882, p. 529).

2. Henri de Parville. *Annales politiques et littéraires*, 13e année, n° 604, 20 janvier 1895, p. 46.

chez les Mollusques. C'est Adolf Fick (1) qui,un des premiers, essaya en 1863, d'étudier cette force chez les anodontes (*a. intermedia, a.cygna*). Il fit en même temps des expériences comparatives sur des muscles de grenouille. En 1865 Léon Vaillant (2) a étudié les Tridacnidés (T. *Elongata*) et a trouvé comme résultats 4 k. 914 et 7 k. 220 par centimètre carré de section.

En 1878 A. Coutance (3) étend cette étude à un certain nombre de Lamellibranches (*Pecten maximus, P. Varius, O. edulis, Pectunculus pilosus,* T*apes decussata, Venus Verrucosa, Cardium edule, C.* S*erratum, Mytilus edulis.*

Ces expériences très-ingénieuses et très-intéressantes manquent un peu de précision comme l'a établi F. Plateau (4) qui, du reste les a reprises sur un plus grand nombre de Lamellibranches ; mais, ayant négligé certaines mensurations indispensables, il n'a utitilisé que quelques-unes des valeurs relatives aux cinq mollusques suivants : *Unio pictorum, Cyclas rivicola, Artemis exoleta,* T*ellina incarnata, Pandora rostrata.* Sur chacun d'eux il détermine : 1° le poids moyen brut déterminant l'écartement des valves.

2° Le poids moyen représentant l'élasticité du ligament

3° Le poids moyen de la valve inférieure.

1. A. Fick. *Beiträge zur vergleichenchen Physiologie der irritabelen substanzen, Brannschweig*, 1863.

2. Léon Vaillant. *Recherches sur la famille des Tridacnidés* (*Annales des Sciences naturelles. Zoologie*, 5e série, t. IV, 1865, p. 65.

3. A. Coutance. *De l'énergie et de la structure musculaire chez les Mollusques acéphales*, 1878, J.-B. Baillière.

4. F. Plateau. *Recherches sur la force absolue des Invertébrés, loc. cit.*, p. 153.

4° Longueur du bras de Levier de la Puissance et de la Résistance.

5° Surface moyenne de section des muscles.

Pour déterminer l'écartement des valves il se sert de deux crochets d'acier, pliés à angle droit ; sur une petite longueur, à l'autre extrémité. (1). Le bord de la coquille est usé en un point situé vis-à-vis de l'adducteur unique ou dans une position médiane entre les deux adducteurs ; il introduit les parties coudées des deux lames d'acier dans la fente, accroche l'une à un support solide et à l'autre, il suspend un plateau destiné à recevoir des poids.

Ce dispositif me semble présenter un inconvénient ; le plan de symétrie de l'animal ne reste pas horizontal et les muscles adducteurs se disposant obliquement, n'agissent pas parallèlement à la puissance (poids) qui est verticale ; il y a donc une légère cause d'erreur.

La valeur (3) qu'il donne comme représentant l'élasticité du ligament cardinal me semble trop faible pour le T. *decussata* (223 gr. 30) où j'ai toujours trouvé une valeur supérieure ; à moins qu'il n'ait opéré sur des échantillons très-petits, je crois plutôt, en observant la figure qu'il donne à ce sujet, que le fil de suspension du poids tenseur ne passait pas par le point d'application de la résultante musculaire, ce qui est nécessaire pour avoir la résistance relative que le ligament oppose à l'action des muscles.

La surface moyenne de section des musles n'est pas né-

1. F. Plateau, *Loc. cit.*, p. 154-155.
2. Id. id. p. 159.

cessairement celle d'une ellipse,(1) comme je l'ai dit pour *Tapes* p. 158 ; en considérant cette section comme elliptique on doit trouver des résultats trop élevés et je crois que le savant professeur de Gand n'a pas suffisamment tenu compte de cette cause d'erreur ; la force musculaire qui est en raison inverse de cette section en est diminuée d'autant.

Aussi, la force musculaire de *Tapes decussata* est, d'après F. plateau (2) 6 kg, 1006 par céntimètre carré. Ce nombre est inférieur au nôtre que nous avons déterminé par deux méthodes bien différentes et en supprimant, autant que possible, toutes les causes d'erreur. Il est vrai que T. *decussata* est précisément un des individus sur lesquels les mensurations n'ont pas été relevées (3); aussi le résultat précédent n'est pas nécessairement exact d'après l'auteur lui-même.

Ces réserves faites, voici les résultats qu'il a trouvés pour les autres Mollusques (4).

Ostrea hippopus	6kg.365 par cm. carré.
Pecten maximus	3 k. 786
Venus verrucosa	12 k. 431
Ostrea edulis	5 k. 867
Mytilus edulis	7 k. 984
T. decussata	6 k. 106 ?
Cardium edule	2 k. 856
Mya arenaria	1 k. 178

1. F. Plateau. *Loc. cit.*, p. 162.
2. Id. id. p. 163.
3. Id. id p. 153.
4. Id. id. p. 163.

Nous voyons donc que, sauf *Venus verrucosa*, tous les autres mollusques bivalves ont une énergie musculaire inférieure à celle de *Tapes decussata* que nous évaluons à 9-10 kg.

Il nous reste à comparer la force musculaire de *Tapes decussata* à celle des autres animaux et surtout à celle de l'homme qui, au fond, est toujours l'objet de toute discussion.

Les Insectes et les Crustacés, où les muscles sont striés, ne présentent aucun interêt à ce sujet, sinon que l'énergie des muscles striés ne diffère guère de celle des muscles lisses (F. Plateau) (1).

Chez la grenouille, cette force varie de 2,8 à 3 kg. par centimètre carré, comme l'a déterminé Rosenthal (2).

P. Regnard et R. Blanchard (3) ont trouvé que 1 kg. de chien produit 8 kg. 25 de force temporo-massitérienne tandis que un kg. de crocodile produit 12 kg. 8 de force ptérygoïdienne. Ces résultats ne peuvent pas entrer en ligne de compte, car il nous faudrait connaître la surface de section des muscles sur lesquels on a opéré et en particulier, celle du ptérygoïdien pour le crocodile dont l'énergie paraît considérable.

Chez l'homme où ces recherches sont nombreuses, on

1. F. Plateau. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. XX, n° 11, 1865 et t. XXII, n° 11, 1866.

2. J. Rosenthal. *Note sur la force musculaire de la grenouille* (*C. rendus de l'Ac. des Sciences de Paris*, t. LXIV, 1867, p. 1143, et Rosenthal. *Les nerfs et les muscles*, 3e éd., 1883, p. 58).

3. P. Regnard et R. Blanchard. *Sur la force musculaire de la mâchoire des crocodiles* (*Nature française*, 10e année, n° 450. p. 97).

a trouvé des résultats variés, suivant les muscles qu'on a étudiés (*a*).

Les muscles soléaires ont donné à Weber (1) 6 à 7 kg. par cm. carré.

— fléchisseur du bras	Haughton (2) 6,670
droit	Henke et Knorz (6) 8,991
de la jambe	Haughton (3) 7,80
bras gauche	Henke et Knorz (6) 7,380
bras	Korster (4) 7,400
Muscles du mollet	Korster 9,000 à 10,000

Les résultats précédents nous amènent donc à la conclusion suivante : l'énergie musculaire chez *Tapes decussata* est supérieur ou au moins égale à celle de l'homme. Cette conclusion est conforme à la croyance des marins sur la force musculaire des mollusques, mais elle n'en est pas moins très-curieuse à constater. La valeur fonctionnelle du tissu musculaire est la même chez tous les animaux et, lorsqu'on constate des différences, ces différences sont si peu prononcées, qu'elles ne sauraient devenir distinctives ; la physiologie est une, dans le régne animal, et en

1. Weber. V. Rosenthal. *Les nerfs et les muscles*, *loc. cit.*, p. 59-60.

2. S. Haughton. *On Some Elementary Principles in animal Mechanics.* (*Royal Society Proceedings*, 20 juin 1867, et *Ann. and Magazine of Nat. History*, t. XX, 3e sér. 1867, p. 294.

3. Voyez Rosenthal. *Nerfs et muscles*, *loc. cit.*, p. 59, et F. Plateau, *loc. cit.*, p. 164.

4. Korster. *Sur quelques points de la mécanique du corps humain. La détermination du maximum de force du muscle vivant.* (*Arch. des Sc. exactes et nat.*, publiées par la Société hollandaise des Sc. à Harlem, t. II, La Haye, 1867.

a. Voyez en outre Marey. *La machine animale.*

plaçant les tissus dans les mêmes conditions ils fournissent des manifestations analogues, sinon identiques.

N'est-ce pas là, une raison puissante, pour essayer de dégager les lois de la physiologie par l'étude des animaux inférieurs et remonter ensuite jusqu'à l'homme, cette synthèse de la création? Oui, de même que l'Anatomie des Invertébrés a fait connaître celle des Vertébrés dans sa constitution et dans ses rapports, de même leur physiogie est appelée à faire mieux connaître la physiologie spéciale des Vertébrés et celle de l'homme. C'est ainsi que, non-seulement au point de vue spéculatif, mais même au point de vue pratique, l'anatomie et la physiologie comparées constituent une science de la plus haute importance, ne le cédant en rien aux autres sciences spéciales. La création de laboratoires d'anatomie et de physiologie comparées, sur les bords mêmes de la mer, en permettant d'étudier les animaux sur place, contribuera pour une large part au progrès de cette science ; les laboratoires de Roscoff et de Banyuls-sur-mer réalisent déjà ces conditions, grâce aux efforts de leur éminent fondateur, Monsieur H. de Lacaze-Duthiers, qui a ainsi doté la France et la science de deux puissants facteurs de travail.

XIII

RÉSISTANCE DE LA COQUILLE

1° *La matière organique donne une grande consistance à la coquille.*
2° *La coquille résiste d'autant moins à l'écrasement qu'elle est plus vieille, c'est-à-dire que la substance organique est plus altérée.*

Expériences. — Les expériences, très-nombreuses, ont été faites sur les valves séparées. Chaque valve était placée à plat sur une table, sous un levier du deuxième genre qui reposait sur la face convexe de la valve, en son point culminant. Ce levier, fixé à son extrémité, était sollicité par un poids qui se déplaçait de manière à augmenter progressivement la pression exercée sur la coquille. Cette pression est égale à la somme de deux pressions : 1° celle qui est due au levier lui-même ; 2° celle qui est due au poids suspenseur.

La 1re est égale au poids du levier, multiplié par la moitié de la longueur du levier qui représente le bras de levier de son poids, appliqué à son centre de gravité, c'est-à-dire, au milieu, et divisé par le petit bras de levier de la résistance, c'est-à-dire par la distance du point d'appui (point culminant de la valve) au point fixe. (1)

La 2e est égale au poids suspenseur multiplié par le rapport des bras de levier de la puissance et de la résistance.

Le bras de levier de la puissance est égal à la distance

1. On sait que dans un levier, en équilibre, la puissance et la résistance sont en raison inverse des bras de levier.

du point fixe du levier au point de suspension du poids, au moment où l'écrasement se produit; le bras de levier de la résistance est égal à la distance du point fixe au point d'appui (point culminant de la valve).

Notre levier était constitué par une barre d'acier de 60 centimètres de longueur et pesant 650 grammes; il reposait par la petite face sur la valve, placée de manière que le point de contact avec le levier fût à 3 centimètres du point fixe; le petit bras de levier avait donc 3 centimètres de longueur. Le poids de suspension était de 6 kilogrammes.

Voici quelques résultats :

COQUILLES DONT ON A RETIRÉ L'ANIMAL

1e depuis 1-3 jours	2o depuis un mois	3o depuis 4 mois
l'écrasement s'est produit sous les pressions suivantes		
109k750	73.50	
93.750	69.750	
91.750	68.750	
89.750	69.650	
a 117.750	81.750	60.249
b 109.650	89.750	51.205
100.650	84	
109.650	71.750	
101	74.650	
93.750	79.750	65.825
97.750	74.750	54.05
c 113.750	89.750	61.405
d 113.650	84.750	61.405
e 117.750	89.750	62.405
101.750	84.750	64.805
f 115.750	97.750	59.025
g 120		64.805

Le tableau précédent nous montre une diminution rapide de la résistance de la coquille; pour a. b. c. d. e. f. cette résistance a diminué sensiblement de moitié en 4 mois.

Pourquoi la résistance d'une coquille séparée de l'animal, diminue-t-elle avec le temps ?

La réponse ne nous semble pas douteuse ; cela tient à l'altération de la matière organique de la coquille. On sait en effet que la matière organique persiste dans la coquille ; comme l'a montré Carpenter (1) dans la *Pinne marine*, le carbonate de chaux est moulé à l'intérieur des cellules organiques ; celles-ci forment donc dans la masse minérale une trame conjonctive qui lui donne de la consistance. Lorsque cette trame perd de sa solidité, toute la coquille s'en ressent au point que, lorsque la matière organique est complètement détruite, la matière minérale devient souvent friable.

Quelle relation y a-t-il entre la résistance d'une coquille et la proportion de matière organique qu'elle renferme ? Cette question est assez intéressante et peut nous fournir des renseignements sur la résistance des matériaux associés à des substances organiques. Pour entrevoir une solution, il faudrait faire l'analyse de la coquille et examiner la résistance à ses différents âges en étendant cette étude à d'autres animaux : nous nous sommes placé à un point de vue plus restreint et, pour le moment, nous nous bornons à montrer que la matière organisée donne de la consistance aux coquilles.

1. Carpenter. *General results of Microscopic Inquiries into the minute structure of the skeletons of Mollusca, etc.* (*Ann. of Nat. Hist.* 1843, t. XII, p. 377). *Report on the Microscopic structure of shells* (*British Assoc. for the advancement of Science for* 1844. *Art. shell* (*Todd's cyclop. of Anat. and Physiol.*).

XIV

PRÉSENCE DU FER

1° *Le fer existe à l'état de protoxyde ; il se trouve dans tous les tissus et particulièrement dans les organes de Bojanus, dans les parois du tube digestif et dans celles des canaux hépatiques.*

2° *Il est éliminé par les organes de Bojanus et le tube digestif.*

Expériences. — L'animal débarrassé de sa coquille est placé dans l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique ou l'acide azotique qui fait passer le protoxyde de fer à l'état de sesquioxyde. On sait que les sels ferriques donnent un précipité caractéristique bleu de Prusse avec le prussiate jaune ou ferrocyanure de potassium et une coloration rouge-sang avec le sulfocyanure de potassium. Or, ces deux sels qui ne donnent aucune coloration avec l'animal dans son état normal, donnent les colorations caractéristiques après le traitement par l'acide oxydant qui a fait passer le protoxyde de fer à l'état de sesquioxyde. Donc le fer se trouve à l'état de protoxyde.

La coloration caractéristique apparaît inégalement vite dans les différents organes, ce qui dénote leur richesse respective en fer.

Les *organes de Bojanus* se colorent les premiers et rapidement ; leur couleur bleu de Prusse est foncée, ce qui prouve que le fer y existe en plus grande quantité que partout ailleurs.

Le *tube digestif* se colore ensuite : on peut même suivre

ses méandres dans le tissu hépatique grâce à cette coloration qui existe dans les parois propres du tube.

Les *canaux hépatiques* se colorent presque en même temps que le tube digestif.

La coloration de *la bosse* apparaît plus tard et elle commence par la base, du côté des organes de Bojanus ; enfin, *les muscles* ne se colorent qu'au bout de quelques heures.

Avec le sulfocyanure de potassium on obtient les mêmes phénomènes de coloration rouge.

Le fer existe donc dans tous les tissus, mais en quantité inégale ; les organes de Bojanus en renferment le plus et les muscles le moins.

Le *sang* paraît ne pas contenir de fer ; en effet, quelques gouttes de sang prises dans le cœur au moyen d'une pipette aspirante ne donnent pas les réactions caractéristiques précédentes. De même, l'eau de lavage de Tapes dont le cœur a été ouvert, pour laisser écouler le sang, ne donne rien avec le sulfocyanure ni avec le ferrocyanure.

Par contre, le sang a une réaction nettement alcaline : en effet, des gouttes de sang, déposées sur du papier rouge de tournesol, le font immédiatement tourner au bleu.

Les excréments paraissent être calcaires : en effet, ils produisent une légère effervescence lorsqu'on les traite par un acide. Mais ces excréments acidulés traités par les réactifs du fer, donnent les colorations caractéristiques bleues ou rouges ; ils renferment donc du fer. Le fer se trouve surtout dans la couche superficielle, car avec le

sulfocyanure on voit cette coloration disparaître au bout d'un certain temps, par suite de la dissolution de la partie colorée dans l'eau acidulée; les excréments présentent alors leur couleur ordinaire. Si on essaye de la recolorer avec le sulfocyanure, on n'obtient plus rien, ce qui prouve que le fer éliminé se trouvait dans les couches superficielles, comme s'il provenait de l'épithélium du tube digestif.

Ces expériences répétées avec *T. pullastra* et *T. aurea* ont donné des résultats analogues.

Dosage du fer. — Le fer a été dosé par le procédé volumétrique de Margueritte (1), basé sur la décoloration brusque du permanganate de potassium, lorsqu'on le verse dans une dissolution de sel ferreux; la coloration persiste lorsque le sel ferreux est passé à l'état de sel ferrique. La liqueur de permanganate, étant préalablement titrée avec une dissolution ferrugineuse dont on connaît la teneur en fer, permet de déterminer très rapidement la richesse en fer d'une dissolution ferrugineuse à l'état de protoxyde.

Si, par exemple, le titre de la liqueur de permanganate est de $\frac{2.8}{400}$, à chaque division de cette liqueur versée dans la dissolution à essayer, correspondra $\frac{2.8}{400}$ de fer pur.

Expériences. — La matière organique de l'animal est détruite par de l'acide sulfurique pur ou par un mélange de chlorate de potassium et d'acide chlorhydrique. Les

1. Voyez Wurtz. *Dictionnaire de chimie pure et appliquée.* T. I, p. 264.

tissus étant détruits, on étend d'eau distillée, on précipite l'excès d'acide sulfurique par un sel de baryte, on filtre et on ramène le fer à l'état de protoxyde en mettant dans la dissolution du zinc pur qui donne de l'hydrogène réducteur ; on l'y laisse jusqu'à ce que le liquide ait pris une couleur vert pâle. On filtre encore et on ajoute au liquide quelques gouttes d'acide chlorhydrique. On verse alors goutte à goutte la liqueur titrée de permanganate jusqu'à ce que la couleur jaune que prend la solution du fer soit changée en rouge clair.

L'animal soumis à l'expérience est complètement débarrassé de son eau et desséché en partie par une exposition de une heure à une température constante de 100° donnée par l'étuve. On détermine exactement le poids de chair traitée en pesant l'animal à la sortie de l'étuve et en retranchant de ce poids celui de la coquille séparée. L'animal est séparé de la coquille au moyen d'une lame d'argent ou de verre ; une lame de fer altérerait les résultats.

J'ai fait ainsi trois dosages avec des liqueurs titrées de permanganate $\frac{0,5608}{153}$ et $\frac{0,7}{580}$;

19 gr.	805 de chair desséchée ont donné :	0 gr.	0114	de fer.
10	—	0	006	—
7	154 —	0	005	—

Dans les trois cas, la quantité de fer par 100 gr. de chair desséchée est environ de 0 gr. 06 (*a*).

Le fer de la Palourde et des Tapidées provient, en

a. Les échantillons dont je me suis servi provenaient de l'Océan (La Rochelle et Fouras).

grande partie, de l'eau de la mer, où l'analyse chimique n'en décèle pas. Déjà, p. 105, nous avons vu l'être vivant se comporter comme un réactif plus sensible que tous nos réactifs chimiques ; ici également, il se montre plus puissant que nos procédés de laboratoire pour retirer le fer d'un milieu où il existe en quantité infinitésimale. Dans certains cas, le réactif physiologique mériterait une place à côté des réactifs chimiques.

Historique. — Le fer absorbé par Tapes est éliminé en grande partie par le tube digestif et par les organes de Bojanus. La physiologie et l'anatomie de l'organe de Bojanus sont connues depuis les remarquables travaux de notre éminent Maître, M. de Lacaze-Duthiers (1), qui a nettement établi sa fonction urinaire. L'élimination du fer étant une fonction d'excrétion, rien d'étonnant à ce qu'elle se fasse par le principal organe de secrétion, indépendamment des autres produits rejetés, tels que l'urée et l'acide urique.

Déjà, en 1856, Schlossberger (2) a signalé des traces d'oxyde de fer dans l'organe de Bojanus de *Pinna nobilis* ; depuis, Letellier (3), en étudiant cet organe, a montré qu'il renfermait du peroxyde de fer, particulièrement chez les Cythérées et chez la Moule.

1. H. de Lacaze-Duthiers. *Mémoires sur l'organe de Bojanus.* (*Ann. des Sc. Nat.*, 4e série t. IV, 1855, p. 273, 282, 313). — *Histoire anatomique et physiologique du Pleurobranche orange* (*Ann. des Sc. Nat.*, 4e série, 1859, t. XI, p. 256.
2. Schlossberger. *In* Letellier. Thèse, 1887.
3. Letellier. *Étude sur la fonction urinaire chez les Mollusques acé-*

Chez Tapes, cette élimination du fer, à l'état de protoxyde, est incontestable, comme il est facile de s'en assurer par le procédé que j'ai indiqué. Ce procédé est excellent pour montrer, rapidement aux élèves, ces organes chez les Lamellibranches.

Mais le fer se trouve dans tous les tissus des Lamellibranches (*a*), comme nous l'avons prouvé pour Tapes, sauf cependant dans les acini du foie où il n'existe guère.

Chez les Huîtres, le fer existe normalement dans les branchies, les palpes labiaux et les autres tissus, comme cela a été établi par Berthelot (1) d'abord, puis par Chatin et Muntz (2). Par des analyses très précises et par des expériences très ingénieuses, MM. Chatin et Muntz ont établi le parallélisme entre la richesse en fer des branchies et leur coloration verte ou brune.

Du reste, la présence du fer chez les Invertébrés est connue depuis longtemps ; en 1839, Hunefeld (3) le retirait du sang du Lombric et en 1852, Gent (4) le trouvait dans les cendres du sang de la Limule. Notre ancien

phales. Thèse, 1887 (*Arch. de zool. expérim.*, t. V *bis*, 1887, p. 88 et 144.

1. Berthelot, *in* Coste. *Voyage sur les côtes de France et de l'Italie.*

2. Muntz et A. Chatin. *Étude chimique sur la nature et les causes du verdissement des huîtres. Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, t. CXVIII, p. 17 et 56.

3. Hunefeld. *Ueber das Blut der Regenwürmer* (*Journ. für prakt. Chemie*, 1893, t. XVI, p. 152).

4. Gent. *Ueber die Aschenbestandtheile des Blutes von Limulus Cyclops* (*Ann. der chem. und Pharm.*, 1852, N. R., vol. V, p. 68).

a. *Artemis exoleta*, *A. lincta* et *Venus verrucosa* renferment aussi du fer (expériences faites à Roscoff).

et sympathique maître de conférences, M. Pruvot, professeur à la Faculté de Grenoble, a bien voulu nous communiquer, à ce sujet, une observation inédite faite sur *Lepidopleurus inclusus* (de Claparède) ; le fer se trouve à l'état de protoxyde dans la couche brune, dure et incrustante des tubérosités de cet annélide. En rappelant que le fer est un des éléments constitutifs de l'hémoglobine des Vertébrés, nous voyons que ce métal est très répandu dans le règne animal où on peut considérer sa présence dans les tissus comme un fait normal, sinon nécessaire.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

Voici les principales conclusions de ce travail :

I. — Les Tapidées se déplacent dans le sable au moyen de leur pied et dans l'eau, au moyen du pied et du jet d'eau qu'ils lancent par le siphon dorsal,

II. — *Tapes pullastra* produit un son en faisant vibrer les bords du manteau.

III. — La durée pendant laquelle *Tapes decussata* peut supporter l'inanition varie avec la taille et la température : elle augmente avec la taille et diminue avec la température.

6 à 12 jours en été.
20 à 30 hiver.

L'organisme diminue des 2/5 aux 3/5 de son poids initial.

IV. — *T. decussata* résiste à l'asphyxie et détermine le dédoublement alcoölique des hydrates de carbone quand il est placé dans leur dissolution privée d'oxygène ou dans un espace confiné. Le saccharose, la dextrine et l'amidon sont d'abord transformés en glucose.

Un dédoublement alcoolique analogue, mais moindre, des matières de réserve se produit également lorsqu'il est placé dans les mêmes conditions d'asphyxie dans l'eau bouillie.

La résistance à l'asphyxie se prolonge plus longtemps en hiver qu'en été.

V. — La contractilité musculaire persiste pendant deux jours, après la destruction du cœur et 3 jours 1/2 après la destruction des ganglions nerveux.

Elle persiste 15 à 20 heures sur le cœur complètement séparé et 2 à 3 jours 1/2 sur les muscles des siphons complètement séparés et placés dans l'eau de mer.

VI. — La rupture du péricarde détermine le gonflement immédiat du cœur suivi d'une grande agitation pendant cinq minutes. Les pulsations redeviennent ensuite régulières et diminuent en nombre. Le cœur s'arrête plus tôt que si le péricarde est intact ; dans l'eau de mer il s'arrête plus tôt qu'à l'air libre.

VII. — La destruction des ganglions nerveux détermine un ralentissement rapide des pulsations cardiaques et l'arrêt du cœur en systole.

VII. — L'action du courant électrique est directe.

Un courant d'induction (30 décharges) qui agit sur les ganglions sous-intestinaux, détermine, après une surexcitation très-courte, un ralentissement des pulsations cardiaques et l'arrêt du cœur en un temps assez court.

Le même courant, agissant sur les ganglions cérébroïdes, produit un effet analogue mais plus énergique.

IX. — Quelques faibles décharges d'induction sur le cœur même, déterminent une surexcitation de cet organe.

Si les décharges sont fortes, il se produit de vives et rapi-

des contractions cardiaques avec arrêt du cœur en systole.

Les pulsations reprennent si les décharges ne sont pas nombreuses.

X. — La chaleur agit comme un excitant.

Toute élévation de température détermine une surexcitation des mouvements cardiaques ; la mort survient plus vite.

Une température de 45° pendant un quart d'heure détermine la mort et le cœur s'arrête en systole.

La température maximum immédiatement mortelle est de 55° à l'air et de 50° dans l'eau.

Les hautes températures sont supportées plus longtemps dans l'air humide que dans l'eau.

Une chaleur modérée donne de l'activité aux tissus musculaires et ranime les pulsations affaiblies et ralenties.

XI. — Le milieu extérieur agit moins par sa densité que par sa composition.

XII. — Les différentes substances dissoutes normalement dans l'eau de mer sont plus ou moins toxiques lorsqu'elles agissent isolément.

Si on fait varier, dans l'eau de mer même, la proportion relative de ses différents sels, ils deviennent toxiques à une dose variable d'une substance à une autre ; les sels de sodium et de magnésium le sont moins que ceux de potassium. Leur degré de toxicité est en raison inverse de leur proportion relative dans l'eau de mer.

XIII. — Le chlorure de sodium, dissous dans l'eau de mer

dans la proportion de 0,5 à 8 0/0, ralentit les pulsations cardiaques d'autant plus que la proportion de sel est plus forte.

XIV. — Le sulfate de magnésium, dissous dans l'eau de mer dans la proportion de 0,5 à 4 0/0, se comporte comme le chlorure de sodium, mais la mort survient plus tôt.

XV. — Le chlorure de magnésium est plus énergique que le sulfate.

XVI. — L'iodure de potassium est délétère à 0,5 0/0.

XVII. — Le bromure de potassium est encore plus énergique que l'iodure.

XVIII. — Les sels de potassium, de sodium et de magnésium, dissous dans l'eau de mer, sont délétères à 2 0/0.

XIX. — Le sucre de canne dissous dans l'eau de mer, est délétère à la dose de 2 0/0, par immersion.

XX. — L'eau distillée est délétère; elle produit la turgescence des tissus et la diffusion des matières cristalloïdes.

XXI. — Les acides minéraux sont des poisons musculaires très puissants; ils déterminent la coagulation des matières albuminoïdes et ils agissent à la dose de 1/10000, en amenant l'arrêt du cœur en systole et la rigidité des muscles.

Les acides organiques sont moins énergiques ; leur action est sensible au 1/5000.

Les vapeurs acides agissent de la même manière, mais plus lentement.

XXII. — Les alcalis sont moins énergiques que les acides, leur action est sensible au 1/5000.

Le gaz ammoniac est très délétère.

XXIII. — Le chlorure de sodium de 9 à 5 0/0 et le sulfate de magnésium de 1 à 0,8 0/0 diminuent la toxicité de l'eau douce.

XXIV. — Le bromure, le chlorure, l'iodure de potassium augmentent la toxicité de l'eau douce.

XXV. — Les vapeurs d'éther, de chloroforme et d'alcool absolu sont très délétères ; en quelques minutes elles déterminent l'arrêt du cœur en systole et la rigidité musculaire.

L'action de l'alcool, plus lente que celle du chloroforme et de l'éther, est permanente et semble musculaire.

Celle de l'éther et du chloroforme est temporaire et semble nerveuse; elle est mortelle si elle dure plus longtemps.

XXVI. — L'alcool absolu, par contact direct sur le cœur ou sur les ganglions nerveux, détermine immédiatement la systole ventriculaire.

Après une très courte surexcitation, l'éther dans les mêmes conditions, produit une anesthésie temporaire suivie d'un ralentissement du cœur.

Le chloroforme agit comme l'éther, mais est moins énergique.

XXVII. — L'alcool à 15-30° et l'éther injectés dans le pied (1/2 cmc.) déterminent une surexcitation du cœur et provoquent des pulsations nombreuses et énergiques.

L'alcool absolu et le chloroforme, dans les mêmes condi-

tions, déterminent l'arrêt immédiat du cœur en systole et la rigidité musculaire. Le chloroforme est plus énergique que l'alcool.

XXVIII. — Les essences (violettes, bergamote, térébenthine, cèdre), déterminent un ralentissement rapide des mouvements cardiaques avec arrêt du cœur en systole et la rigidité musculaire (Vapeurs).

XXIX. — Les vapeurs de camphre agissent comme les essences.

XXX. — La caféine en injection dans le pied (1 cmc.) ralentit considérablement les mouvements cardiaques.

XXXI. — Le sulfocyanure de potassium arrête instantanément le cœur en systole.

XXXII. — La force musculaire statique de *Tapes decussata* est supérieure et au moins égale à celle de l'homme.

Cette énergie musculaire par centimètre carré de section est égale à 9-10 kg ; elle varie avec la température et possède une température optimum comprise entre 15° et 20°.

XXXIII. — La matière organique donne une grande résistance à la coquille. Celle-ci résiste d'autant moins à l'écrasement qu'elle est plus vieille, c'est-à-dire que la substance organique est plus altérée.

XXXIV. — Le fer se trouve chez les Tapidées à l'état de protoxyde ; il existe dans tous les tissus et particulièrement dans les organes de Bojanus, dans les parois du tube digestif et dans celles des canaux hépatiques.

Il est éliminé par les organes de Bojanus et par le tube digestif.

XXXV. — Le sang de T. *decussata* a une réaction nettement alcaline.

INDEX DES AUTEURS CITÉS

TABLE DES MATIÈRES

Vu et approuvé, Paris, le 14 mars 1895.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer,
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
GRÉARD.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

BOTANIQUE. — La Racine.

GÉOLOGIE. — Structure et composition du Jura. Ses relations avec les Alpes.

Vu et approuvé, Paris, le 14 mars 1895.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer, Paris, le 14 mars 1895.
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
GRÉARD.

Laval. — Imp. et stér. E. JAMIN, rue Ricordaine, 8.

eau bouillie
eau de chaux
mercure
H

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Cire
muscles
enlevés
Cire

Fig. 4

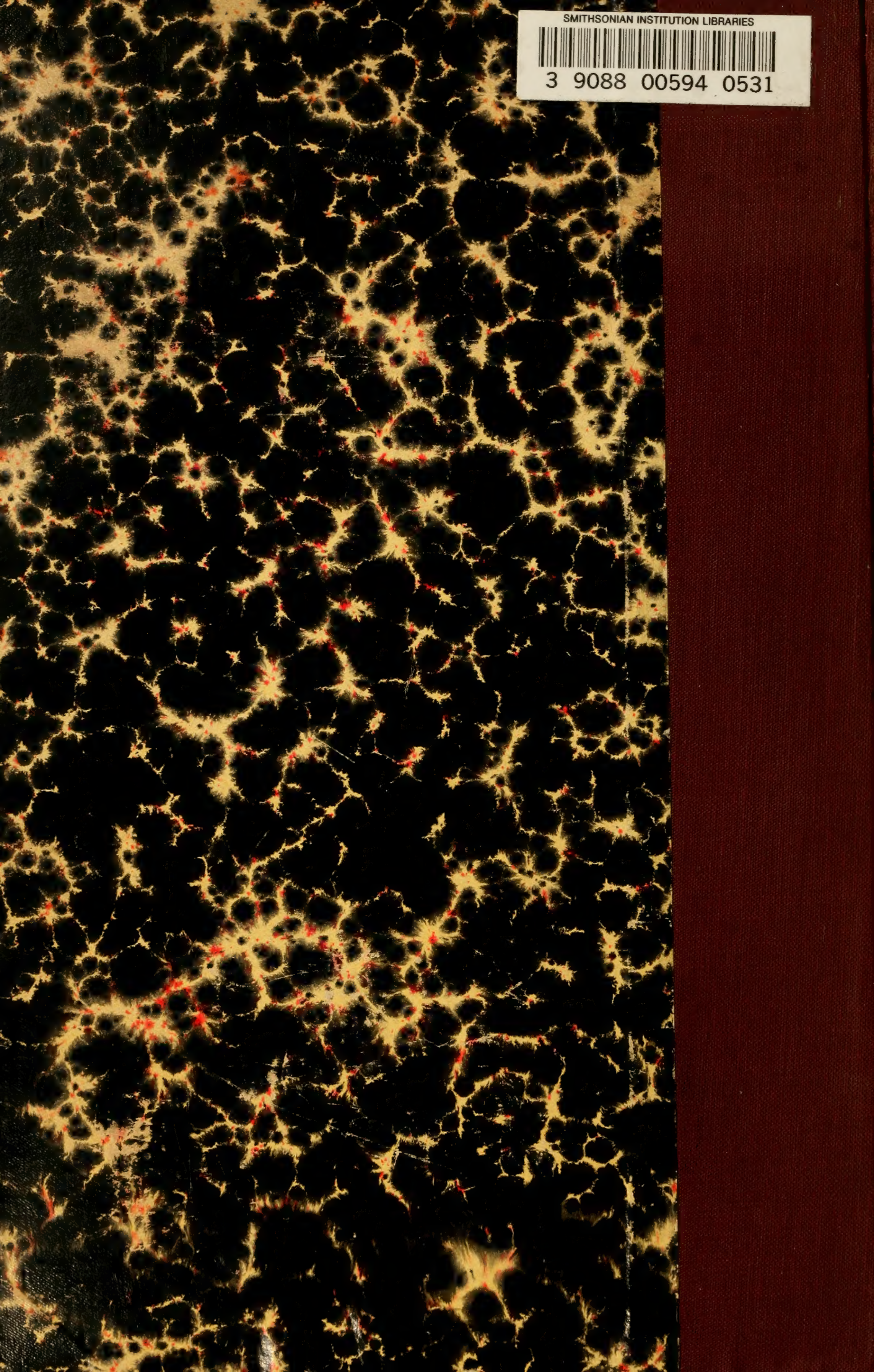
Fig. 5

Fig. 6

Hauteurs
Températures

Fig. 7

63


SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 00594 0531